

Conference Proceedings, Published Version

**Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.)**

## **Sicherheit, Dauerhaftigkeit und Instandsetzung bestehender Wasserbauwerke**

Kolloquium am 7. November 2006 in Karlsruhe

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102159>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2006): Sicherheit, Dauerhaftigkeit und Instandsetzung bestehender Wasserbauwerke. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.

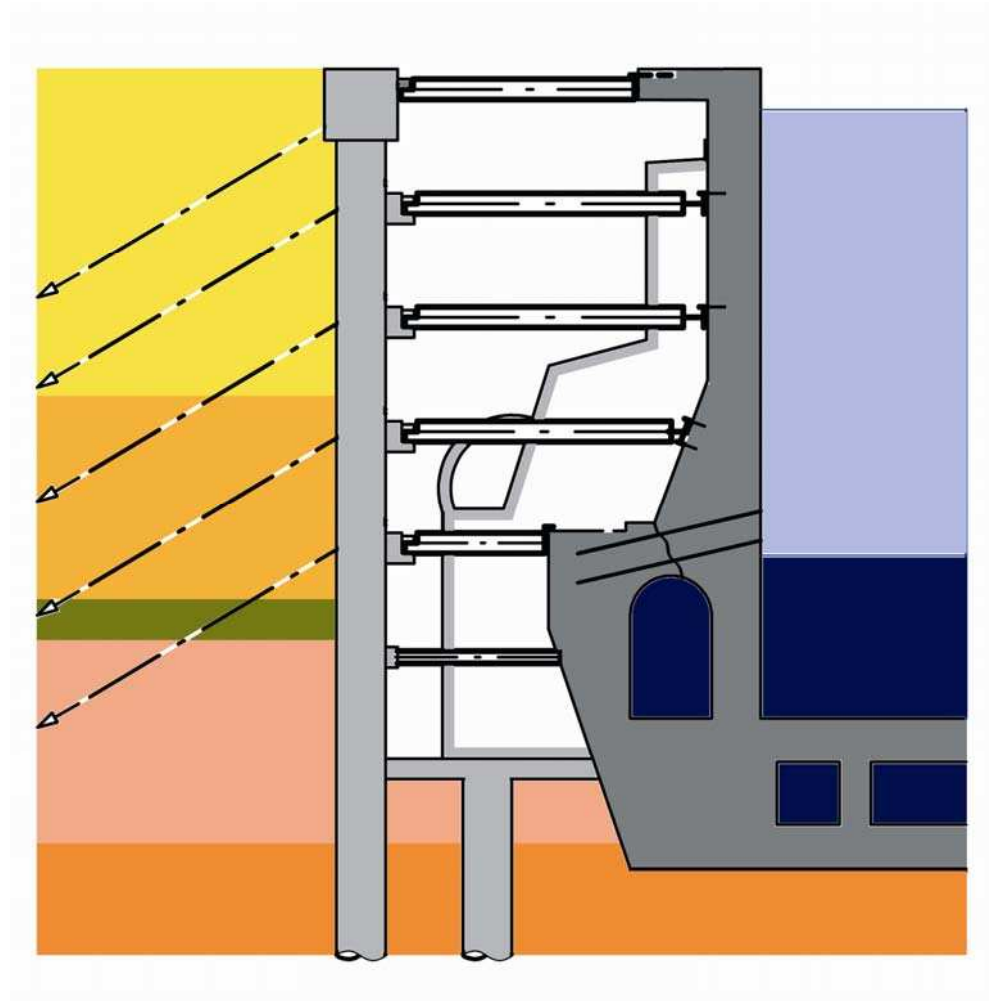




**BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU**  
Karlsruhe · Hamburg · Ilmenau



# Tagungsband

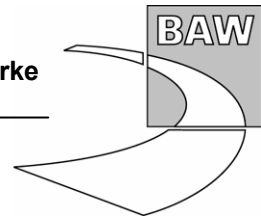


BAW-Kolloquium der Abteilung Bautechnik

**Sicherheit, Dauerhaftigkeit und Instand-  
setzung bestehender Wasserbauwerke**

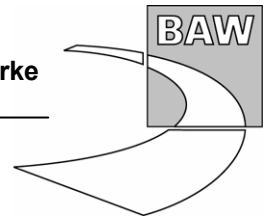
7. November 2006 in Karlsruhe



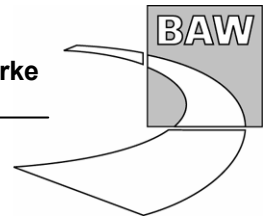


## PROGRAMM

- \* 10:00 – 10:10 Uhr  
*Dipl.-Ing. C. Kunz, Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe*  
**Begrüßung**
- \* 10:10 – 10:40 Uhr  
*Dipl.-Ing. C. Kunz, Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe*  
**Alte Bauwerke – welche Normen?**  
Bei der Nachrechnung bzw. Überprüfung bestehender, zumeist älterer Bauwerke stellt sich die Frage nach der sinnvollerweise anzuwendenden Normengrundlage, die sich seit der Bauzeit zum Teil mehrfach geändert hat. Aus gutachtlicher Sicht werden die Problematik diskutiert, vergleichend betrachtet und Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt.
- \* 10:40 – 11:10 Uhr  
*Dipl.-Ing. H. Becker, Dipl.-Ing. R. Ehmann, Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe*  
**Alte Bauwerke ohne rechnerische Standsicherheit**  
Bei der Beurteilung bestehender Bauwerke lässt sich häufig die Tragfähigkeit nicht mit der erforderlichen Sicherheit nachweisen, insbesondere wenn neuere Normen zu Grunde gelegt werden. Besonders gravierend sind die Fälle, bei denen die konstruktive Ausbildung nur unzureichend bekannt ist. Über die Vorgehensweise und gutachtliche Bewertung derartiger Bauwerke wird berichtet.
- \* 11:10 – 11:30 Uhr                      **Kaffeepause**
- \* 11:30 – 12:00 Uhr  
*Dr.-Ing. M. Heunisch, König und Heunisch Planungsgesellschaft, Frankfurt*  
**Tragwerksplanungen zur Instandsetzung der Schleuse Bamberg**  
Nach Sicherung einer Einsturzgefährdung der östlichen Kammerwand der Schleuse Bamberg, wurde eine dauerhafte Sanierung geplant. Unter Aufrechterhaltung des laufenden Schleusenbetriebes soll die Kammerwand erdseitig verstärkt werden. Die Ausführungslösung beinhaltet besondere Randbedingungen, Fragestellungen und Berechnungsverfahren.
- \* 12:00– 12:30 Uhr  
*Dipl.-Ing. A. Westendarp, Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe*  
**Instandsetzungsgrundsätze für Wasserbauwerke aus Beton**  
Bei der Planung und Ausführung von Betoninstandsetzungsmaßnahmen an Wasserbauwerken sind besondere wasserbauspezifische Aspekte zu berücksichtigen. Über die der aktuellen ZTV-W LB 219 zugrunde liegenden Instandsetzungsprinzipien, aber auch über die Suche nach neuen Lösungsansätzen wird berichtet.
- \* 12:30 – 13:30 Uhr                      **Mittagspause**
- \* 13:30 – 14:00 Uhr  
*Dipl.-Ing. C. Kubens, KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH Nürnberg*  
**Instandsetzung von Wasserbauwerken mit Spritzbeton nach neuer ZTV-W LB219**  
Mit verankerten und bewehrten Spritzbetonvorsatzschalen werden Wasserbauwerke mit unterschiedlichsten Altbetonqualitäten instand gesetzt. Planung, Vergabe, Ausführung und Qualitätssicherung derartiger Betoninstandsetzungsmaßnahmen an Stauanlagen werden anhand abgeschlossener und aktueller Praxisbeispiele vorgestellt.
- \* 14:00 – 14:30 Uhr  
*Dr.-Ing. T. Reschke, Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe*  
**Instandsetzung von Wasserbauwerken mit geringer festen Altbetonen**  
Die Möglichkeiten und Grenzen der Instandsetzung geringer fester Betonuntergründe mit dünnen, unbewehrten, ausschließlich über Adhäsion mit dem Altbeton verbundenen Schichten aus Beton oder Spritzbeton stehen seit geraumer Zeit im Fokus unterschiedlicher Aktivitäten der BAW. Der Vortrag gibt einen entsprechenden Überblick.
- \* 14:30 – 14:50 Uhr                      **Kaffeepause**



- \* 14:50 – 15:20 Uhr  
*Dipl.-Ing. S. Riekenberg, WSA Bremen (früher WSA Rheine)*  
**Grundinstandsetzung der Schleusen Hamm und Werries am DHK**  
Bei Bauwerksprüfungen Ende der 90er Jahre festgestellte Schäden im Stahlwasserbau und Massivbau führten zu einer umfangreichen Grundinstandsetzung der Schleusen Hamm (Baujahr 1914) und Werries (Baujahr 1933) am Datteln-Hamm-Kanal (DHK). Planung, Baudurchführung der Maßnahmen werden vorgestellt und über Erfahrungen berichtet.
  
- \* 15:20 – 15:50 Uhr  
*Dipl.-Ing. U. Gabrys, Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe*  
**Instandsetzung von Stahlwasserbauten: Empfehlungen zu Ermüdungsfestigkeitsnachweisen, zur Materialauswahl und zu Schweißarbeiten**  
Bei einer Instandsetzung bestehender Stahlwasserbauten ist der derzeitige Stand der Technik zu beachten. Um die Sicherheit und Dauerhaftigkeit von Stahlwasserbauten maßgeblich zu beeinflussen, werden Empfehlungen zu Ermüdungsfestigkeitsnachweisen, zur Materialauswahl und zu Schweißarbeiten an Altstählen gegeben.
  
- \* 15:50 – 16:20 Uhr  
*Dipl.-Ing. R. Hertig, Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe*  
**Ertüchtigung oder Neubau von älteren Stahlwasserbauten**  
Im Ergebnis gutachterlicher Untersuchungen von stahlwasserbaulichen Konstruktionen wird oft auch die Möglichkeit einer Ertüchtigung festgestellt. Inwieweit das im Hinblick auf eine Wirtschaftlichkeit gegenüber einem Neubau vertretbar scheint, ist oft schwierig zu entscheiden.
  
- \* 16:20 – 16:30 Uhr  
*Dipl.-Ing. C. Kunz, Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe*  
**Schlusswort**



## REFERENTENVERZEICHNIS

Dipl.-Ing. H. Becker	Bundesanstalt für Wasserbau Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Dipl.-Ing. U. Gabrys	Bundesanstalt für Wasserbau Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Dipl.-Ing. R. Hertig	Bundesanstalt für Wasserbau Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Dr.-Ing. M. Heunisch	König und Heunisch Planungsgesellschaft Oskar-Sommer-Straße 15, 60697 Frankfurt
Dipl.-Ing. C. Kubens	KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH Rothenburger Straße 241, 90439 Nürnberg
Dipl.-Ing. C. Kunz	Bundesanstalt für Wasserbau Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Dr.-Ing. T. Reschke	Bundesanstalt für Wasserbau Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Dipl.-Ing. S. Riekenberg	Wasser- und Schifffahrtsamt Franziuseck 5, 28199 Bremen
Dipl.-Ing. A. Westendarp	Bundesanstalt für Wasserbau Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe



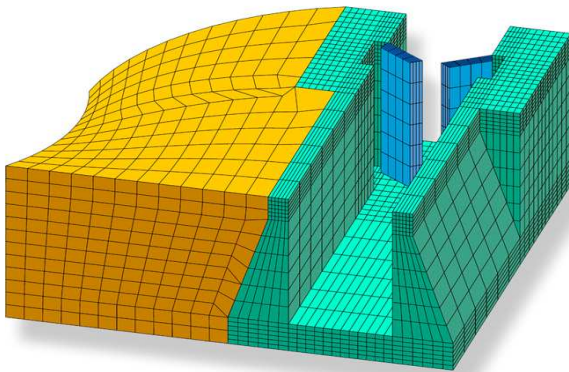
## Abteilung Bautechnik

Die Abteilung gliedert sich in folgende Referate:

- B1 - Massivbau
- B2 - Stahlbau, Korrosionsschutz
- B3 - Baustoffe
- B4 - Konstruktive Gestaltung
- BE Bauwerkserhaltung

### Aufgaben der Abteilung

- Beratung bei Neubau, Ausbau und Instandhaltung hinsichtlich statischer, konstruktiver, gestalterischer und baustoffspezifischer Probleme an Bauwerken und ihren stahlwasserbaulichen Ausrüstungen.
- Erarbeitung von Entscheidungsgrundlagen und technischen Lösungen für solche Aufgaben, die besondere sicherheitstechnische Bedeutung haben und die für einen zuverlässigen und wirtschaftlichen Betrieb der Anlagen wichtig sind.



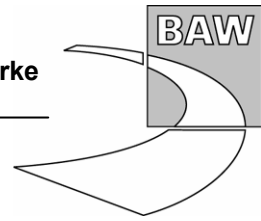
**Strukturanalysen für Wasserbauwerke**



**Beratung während der Herstellung  
(Schleuse Rothensee)**

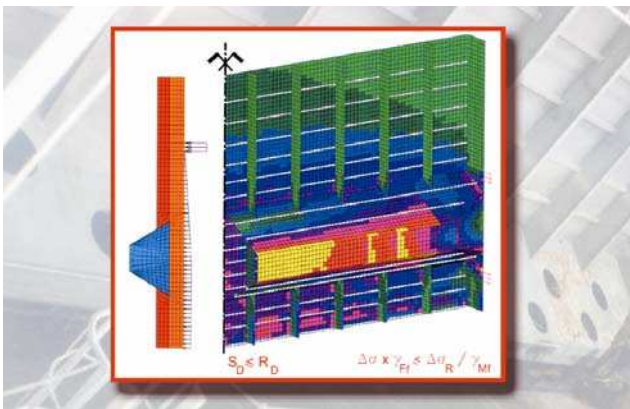
Das Brutto-Anlagevermögen der Wasserbauwerke und der sonstigen Ingenieurbauwerke der WSV beträgt einschl. ihrer Ausrüstung etwa 17 Mrd. €. Im Vergleich zu den Verkehrsträgern Schiene und Straße ist die Vielfalt der Bauwerke wesentlich größer. Ein erheblicher Teil der Bauwerke hat die planmäßige Nutzungszeit von 70 – 90 Jahren erreicht oder überschritten. Aus den unterschiedlichen Nutzungen - außer der Schifffahrt, z. B. Hochwasserschutz und Wasserkraftnutzung - ergeben sich auch die an die Wasserbauwerke zu stellenden Sicherheitsanforderungen.





Daraus leiten sich die fachtechnischen und fachwissenschaftlichen Aufgabenstellungen an die Bautechnik ab:

- Tragwerkssicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit massiver Wasserbauwerke
- Tragwerks-, Funktions- und Betriebssicherheit fester und beweglicher Stahlwasserbauten
- Dauerhaftigkeit (Korrosionsschutz) von Stahlbrücken- und Stahlwasserbauten
- Verwendung von Bauprodukten, die für die speziellen Beanspruchungen von Verkehrswasserbauten dauerhaft geeignet sind
- Gestaltung von Ingenieurbauwerken zur Integration in den Landschaftsraum (Akzeptanz in der Öffentlichkeit)



**Statische Nachrechnung eines Schleusentores**

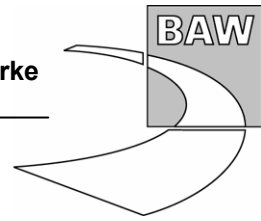


**Gestaltungs-Studie für das neue SHW  
Niederfinow**

Die Bautechnik konzentriert sich auf solche Aufgaben, die

- fachwissenschaftlich schwierig sind,
- fachübergreifend zu bearbeiten sind (Massivbau, Baustoffe, Stahlbau in Abstimmung mit Maschinenbau und Elektrotechnik),
- für die Tragsicherheit und Funktionsfähigkeit der Anlagen wichtig sind,
- langjährige Erfahrungen erfordern,
- von baurechtlicher Bedeutung für die WSV sind.

Die Fachkompetenz ergibt sich insbesondere aus der Abhängigkeit und gegenseitigen Befruchtung von Praxisaufgaben und Grundaufgaben. Aus Projektaufgaben der WSV ergeben sich Forschungsthemen, deren Ergebnisse bei weiteren WSV-Projekten genutzt werden und im Regelwerk ihren Niederschlag finden.



Dipl.-Ing. C. Kunz, Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe

## **Alte Bauwerke – welche Normen?**

### **Inhalt**

- 1 Einführung und Problemstellung
- 2 Baurechtliche Aspekte und Normen
- 3 Technische Vorgehensweise
  - 3.1 Überprüfungen am Bauwerk
  - 3.2 Statische Nachweisführung
  - 3.3 Beurteilung der Sicherheit
- 4 Zusammenfassung und Ausblick
- 5 Literatur

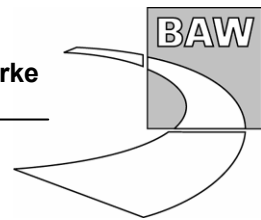
### **1 Einführung und Problemstellung**

Die nachfolgenden Ausführungen stellen Vorüberlegungen dar, die vorerst der Diskussion unterworfen werden. Ziel ist die Erstellung eines Merkblattes oder einer Richtlinie, die eine bauaufsichtlich einwandfreie Vorgehensweise für bestehende Bauwerke des Verkehrswasserbaus ermöglicht, bei der sowohl eine ausreichende Zuverlässigkeit und damit der Schutz menschlichen Lebens als auch ein wirtschaftlicher Erhalt von bestehenden Bauwerken gewährleistet wird.

Beurteilungen der Standsicherheit und Tragfähigkeit bestehender Wasserbauwerke sind erforderlich, z.B.:

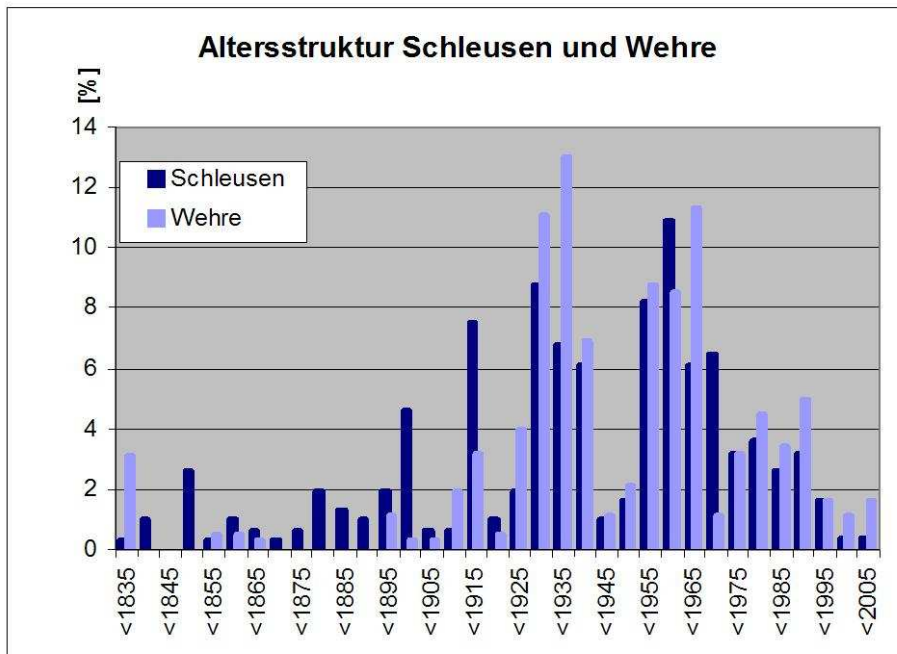
- bei der Unterhaltung/Erhaltung von Bauwerken und fehlenden Berechnungs- und Planunterlagen, insbesondere bei besonderen Betriebs- und Revisionszuständen,
- bei Änderung der Nutzung (unmittelbare Einwirkungen wie z.B. Verkehrslasten, Umbauten), der Randbedingungen (mittelbare Einwirkungen wie z.B. Grundwasser, Erd-  
druck),
- bei Auffälligkeiten (Setzungen, Verformungen, Deformationen, Rißbildung, Korrosion),
- bei außergewöhnlichen Einwirkungen, wie Hochwasser, Schiffsanprall, Eisdruck, Bergsenkung,
- bei Änderungen in den allgemein anerkannten Regeln der Technik [vgl. DIN 19702, 1992] oder bei Vorliegen neuerer Erkenntnisse.

Bei der Nachrechnung von alten bzw. bestehenden Bauwerken stellt sich die Frage nach Anwendung von Berechnungs-, Stoff- und Nachweisnormen. Es fällt auf, dass nur wenige aktuelle Normen und Regelwerke explizit auf bestehende Bauwerke eingehen (z.B. DIN 19700, DIN 19702, DIN 1055-9) und wenn, dann sind die Regelungen häufig nur sehr allgemein gehalten; ein salopper Spruch heißt „neue Normen nur für neue Bauwerke“. Problematisch wird dies mit baurechtlichen Anforderungen, die auch eine Erhaltung von Bauwerken nach den allgemeinen Regeln der Technik, die gewöhnlich in regelmäßigen Zeitabständen aktualisiert werden, fordern. Die Anwendung von „neuen“ Normen bei „alten“ Bauwerken



führt häufig zu Problemen wegen geänderter Rechenmodellen und geänderter Anforderungen (Sicherheiten).

Wasserbauwerke, wie am Beispiel von Schleusen und Wehren der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung aufgezeigt, vgl. Bild 1, sind Bauwerke mit langer Nutzungsdauer, so dass eine Lösung des Problems notwendig erscheint.

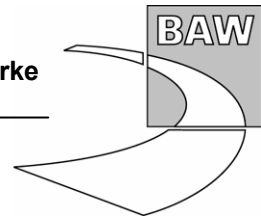


**Bild 1:** Altersstruktur von Schleusen und Wehren der WSV

## 2 Baurechtliche Aspekte und Normen

Bestehende Wasserbauwerke sind hinsichtlich ihrer Standsicherheit und Tragfähigkeit zu überprüfen, wenn sich Einwirkungen wesentlich ungünstig ändern oder wenn Auffälligkeiten am Bauwerk festgestellt werden. Eine Überprüfung kann bei Änderungen in den allgemein anerkannten Regeln der Technik erforderlich werden [DIN 19702, 1992]. Eine Überprüfung wird häufig und zu Recht vor aufwändigen und die Baustoffeigenschaften verbessernden Grundinstandsetzungen vorgenommen. Eine Überprüfung wird ebenfalls im Rahmen der auch nachträglichen Erstellung von Bestandsunterlagen, z.B. auch zur Vorbereitung einer Bauwerksinspektion nach [VV-WSV 2101, 1984], erforderlich.

Für die Nachrechnung von bestehenden Bauwerken stellt sich die Frage nach den anzuwendenden Vorschriften. Trotz des Bewusstseins, dass die bestehenden Bauwerke zum Zeitpunkt ihrer Erstellung nach den damals üblichen und anerkannten Regeln geplant und erstellt wurden, wird man um die Anwendung der jeweils aktuellen Normen in einem ersten Schritt nicht umhin kommen.



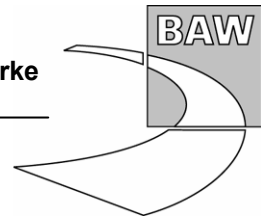
Warum ?

Für die Anlagen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung ist § 48 WaStrG einschlägig, wonach bundeseigene Schifffahrtsanlagen allen Anforderungen der Sicherheit und Ordnung genügen müssen und es anderweitiger behördlicher Genehmigungen nicht bedarf. Diese Anforderungen werden ferner präzisiert durch die Einhaltung von Rechtsvorschriften für die Konstruktion von Bauwerken (z.B. Landesbauordnungen), privat- und öffentlich rechtlichen Vorschriften mit Inhalten zur Sicherstellung von Sicherheit und Ordnung, anerkannten Regeln der Technik sowie behördlichen Erlassen. Die diesbezügliche Verantwortung für Schifffahrtsanlagen bezieht sich nicht nur auf die Erstellung, sondern auch auf die Erhaltung (Unterhaltung) von Anlagen, vgl. [BMV,1993].

Auch die Musterbauordnung fordert in § 3 (1), dass Anlagen so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten sind, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen nicht gefährdet werden, [MBO, 2002]. Die von den obersten Bauaufsichtsbehörden durch öffentliche Bekanntmachung als Technische Baubestimmung eingeführten technischen Regeln sind zu beachten. Von den technischen Baubestimmungen kann abgewichen werden, wenn mit einer anderen Lösung in gleichem Maße die allgemeinen Anforderungen von § 3 (1) erfüllt werden. Interessanterweise beziehen sich Bauordnungen der Länder nicht unbedingt auf „ändern“ und „instand halten“, vgl. z.B. [LBO-Ba-Wü, 2004].

Durch die Aufstellung von Normen nach einem Verfahren gemäß [DIN 820, 1994] wird den Normen die Funktion einer „allgemeinen Regel der Technik“ zugewiesen. Sie ergibt sich aus der Summe der Erfahrungen der Bautechnik, deren Bewährung in der Praxis feststeht und von deren Richtigkeit die Fachleute überzeugt sind. Die Normeninhalte müssen zudem von den Bauschaffenden in der Praxis angewendet werden. Alleinige Erkenntnisse der Wissenschaft stellen noch keine allgemeine Regel der Technik dar. Für den Bereich des Bauwesens erlangen die Normen besondere öffentlich-rechtliche Bedeutung durch eine „Einführung“ der Normen durch die obersten Bauaufsichtsbehörden.

Die bauaufsichtliche Funktion ist dabei darauf ausgerichtet, Gefahren für die öffentliche Sicherheit abzuwehren und damit den Schutz menschlichen Lebens zu gewährleisten. Unter einer Gefahr wird ein Zustand verstanden, der nach verständigem Ermessen den Eintritt eines Schadens erwarten lässt. Beeinträchtigungen, Belästigungen oder Nachteile reichen zur Annahme einer Gefahr nicht aus [THIEL et al.]. Die Beachtung auch bauaufsichtlich eingeführter Normen bedeutet eine Beweisvermutung, dass nach den allgemeinen Regeln der Technik verfahren wird. Neben einem für die richtige Anwendung der Norm erforderlichen Verständnis stellt eine Norm nur eine von ggf. vielen Erkenntnisquellen für technisch-ordnungsmäßiges



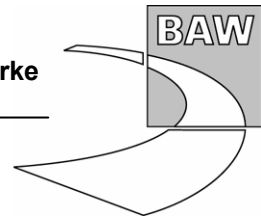
Verhalten im Regelfall dar, vgl. [BUDDE, E.;1975]. Wegen der fortwährenden Weiterentwicklung in der Technik ist ebenfalls die „Beweisvermutung“ für den Stand der Technik mit zunehmendem Alter der Norm schwierig. Die Anwendung einer Norm verbietet sich darüber hinaus „wider besseren Wissens“, also bei bekannten fehlerhaften Inhalten oder auch Verletzung von Rechten anderer. Ein Mangel bauaufsichtlicher Vorschriften ist darin zu sehen, dass eine hinreichend eindeutige Definition einer noch „ausreichenden Sicherheit“ als Mindestanforderung im Rahmen des Ordnungsrechtes fehlt. Hier könnten die nunmehr stärker verankerten Grundlagen und Methoden eines auf statistischer Grundlage aufgebauten Sicherheitskonzeptes mit hinnehmbaren, dem jeweiligen Risiko angepassten abgestuften Versagenswahrscheinlichkeiten, vgl. u.a. [DIN 1055-100, 2001], eine Lösung anbieten.

Insgesamt lässt sich damit festhalten, dass es im Bereich des öffentlichen-rechtlichen Bauens einen Bestandsschutz nicht geben dürfte.

Die baurechtlichen Definitionen legen auch nahe, dass sich die Auslegung der „Sicherheit und Ordnung“ auf die bautechnischen Begriffe „Standicherheit“ und „Tragfähigkeit“ beziehen dürften. Damit dürften Dauerhaftigkeitanforderungen, die häufig über die Auswahl und Zusammensetzung des Baustoffs erfüllt werden, nicht einer Anpassungspflicht aus baurechtlicher Sicht unterliegen.

### **3 Technische Vorgehensweise**

Aus der baurechtlichen Würdigung der Verantwortung für „Sicherheit und Ordnung“ folgt noch keine quantitative Vorgabe für ein bestimmtes Sicherheitsmaß, weder für neue Bauwerke noch für bestehende Bauwerke. Mit Blick auf frühere Grundsatzpapiere, z.B. [GRUSIBAU, 1981], sowie die aktuelle Normung, z.B. [DIN 1055-100, 2001], lässt sich als Ziel eine operative Versagenswahrscheinlichkeit von  $p_f = 10^{-6}$  /a vermuten, was soviel bedeutet, dass ein Bauwerk - oder gar nur ein Bauteil ? – mit einer Wahrscheinlichkeit von 1 : 1.000.000 pro Jahr versagen darf, ein theoretisch sehr unwahrscheinlicher Wert. Bezogen auf eine mittlere Nutzungsdauer eines Bauwerks bedeutet dies ein Versagen von etwa 0,1 ‰; auf die Einflüsse unterschiedlicher Nutzungsdauern verschiedener Bauwerksarten soll hier der Einfachheit halber nicht eingegangen werden. Diese operative Versagenswahrscheinlichkeit differiert jedoch zum einen von den tatsächlichen Versagenswahrscheinlichkeiten, vgl. u.a [WEYER, U.; 2004; SCHNEIDER, J.; 1993], und wurde zum anderen bisher für kein Bauwerk durch einen sämtliche Einwirkungen umfassenden voll-probabilistischen Nachweis erbracht. Dennoch ist ein theoretischer Zielwert, dessen Auswirkungen vor allem bei neuen Bauvorhaben umsetzbar erscheint, sinnvoll. Für bestehende Bauwerke bedarf es einer wirklichkeitsnahen Anpassung, siehe weiter unten.



Die ebenfalls aus diesem theoretischen Ziel der Sicherheit theoretisch einwandfrei oder empirisch abgeleiteten Faktoren, z.B. (Teil-)Sicherheitsbeiwerte, oder Regelungen, z.B. Rissbreiten, die in den Normen zwecks vereinfachter Handhabung durchaus ihren Sinn haben, stellen dabei nur eine Verallgemeinerung der „Sicherheit“ dar. Sich hieran – vor allem für bestehende Bauwerke – zwanghaft halten zu müssen, muss relativiert werden. Insgesamt lassen Normen eine Abweichung von ihren Regelungen zu, sofern ein der Norm gleichwertiges Zuverlässigkeitsniveau erreicht wird. Dies bedeutet das Erkennen und Herausarbeiten des eigentlichen Sicherheitsziels !

Aus der baurechtlichen Würdigung darf ebenfalls geschlussfolgert werden, dass für einen erforderlichen Nachweis der Standsicherheit und Tragfähigkeit daher in einem ersten Schritt die jeweils aktuellen Normen heranzuziehen sind. Probleme entstehen dabei immer dann, wenn sich - wie häufig der Fall - z.B. die Einwirkungen verändert haben, neue Nachweisführungen und -verfahren eingeführt wurden, der Sicherheitsbeiwert vergrößert wurde oder auch die anrechenbaren Materialfestigkeiten verringert wurden oder sich verringert haben. Rein rechnerisch kann sich dabei die Standsicherheit und Tragfähigkeit als ungenügend herausstellen, obwohl das Bauwerk oder dessen Bauteile Auffälligkeiten nicht zeigen.

Mit neuen europäischen Normen und dem darin verankerten Prinzip der Teilsicherheitsbeiwerte sowie manchen auf dieser Grundlage entstandenen neuen nationalen Normen wurde technisches Neuland beschritten, weniger durch die dem alten Sicherheitsniveau nach-geeichten Sicherheitsfaktoren als vielmehr durch neue Nachweiskonzepte, deren Praxiserprobung nicht immer und für alle Anwendungsfälle gegeben ist. Hier dürfte allenfalls eine „technische Vermutung“ für allgemein anerkannte Regeln der Technik in Frage kommen, was für den Bereich von Wasserbauwerken nochmals zu relativieren wäre.

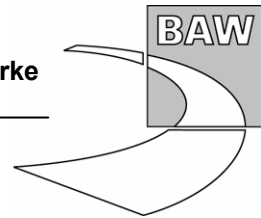
Für die Bewertung bestehender Bauwerke sind demnach in hierarchischer Reihenfolge zu diskutieren:

- Zielwert der Gesamtsicherheit, vgl. 3.3
- Sicherheit bezogen auf Nachweisverfahren, vgl. 3.2
- Sicherheit bezogen auf Einwirkungen und Widerstände, vgl. 3.1,

wobei die Themen in umgekehrter Reihenfolge behandelt werden.

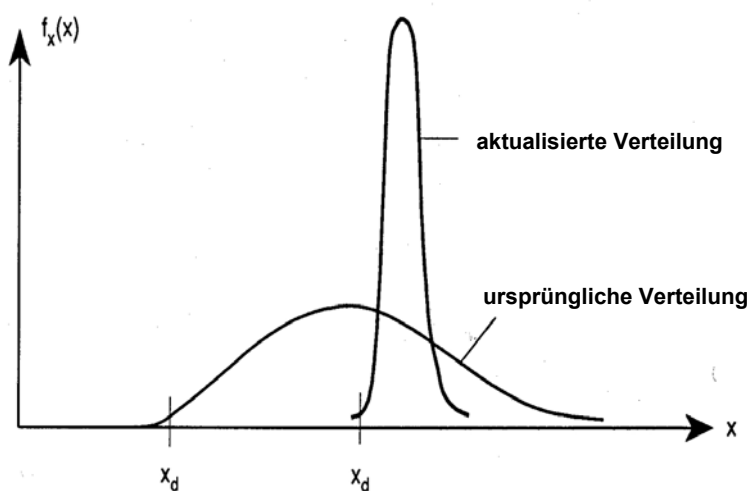
### **3.1 Überprüfungen am Bauwerk**

Für die Bewertung eines bestehenden Bauwerkes sind Informationen zu aktualisieren. Für die Bearbeitung ist eine Besichtigung vor Ort und ggf. eine der Problemstellung angemessenen Zustandsaufnahme unerlässlich. Die bei der Aufnahme des Zustandes relevanten Feststellungen sind Querschnittswerte und -veränderungen, Bauwerksschäden, Verschiebungen



und Verformungen, Rissbildungen, Veränderungen der Oberfläche, Korrosion, Carbonatisierung, Chlorid-Eindringungen.

Die verwendeten Baustoffe sind zu überprüfen und deren Eigenschaften (z.B. Festigkeitsklasse) nach aktuellen Normen zu bewerten. Bei Fehlen dieser Angaben sind Materialkenn-  
daten durch Materialprüfungen zu ermitteln, wobei vorrangig kritische Bauteile zu beurteilen  
sind. Die Beprobung und die Prüfungen müssen repräsentativ sein, nach einschlägigen Prüf-  
vorschriften sowie nach statistischen Anforderungen erfolgen, Bild 2.



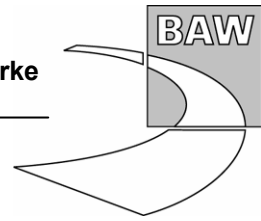
**Bild 2:** Prinzip der Aktualisierung der Verteilungen von Eigenschaften, vgl. VROUWENVELDER, 1993

Die Beanspruchungen aus eingetretenen Baugrundbewegungen sowie zukünftig zu erwartende Baugrundbewegungen sind zu berücksichtigen. Deformationsmessungen am Bauwerk liefern die zugrunde zu legenden Werte.

Die für das Tragverhalten des Bauwerks maßgeblichen statischen Randbedingungen wie z.B. Lagerungsbedingungen, Einspannungen, Fugen sind - insbesondere auch auf den Feststellungen aus der Zustandsaufnahme aufbauend - zu überprüfen und danach das statische System anzupassen, vgl. 3.2.

Mit diesen Betrachtungen lassen sich bereits Aktualisierungen der Teilsicherheitsbeiwerte vornehmen. Genügen diese grundsätzlich der Formel, vgl. z.B. [DIN 1055-10, 2001]:

$$\gamma_F \text{ bzw. } M = \gamma_{\text{sys}} * \gamma_f \text{ bzw. } m$$



mit :

$\gamma_F$  bzw.  $M$             Gesamt-Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkung bzw. des Widerstandes  
 $\gamma_{sys}$                     Modellunsicherheit  
 $\gamma_f$  bzw.  $m$             Teilsicherheitsbeiwert der Einwirkung bzw. des Widerstandes,

so führen Analysen der Einwirkungen (z.B. Lasten) bzw. der Widerstände (z.B. Baustoffe) zu einer Aktualisierung des Teilsicherheitsfaktors. Somit ist eine Anpassung des Teilsicherheitsbeiwertes für Einwirkungen  $\gamma_F$  bzw. auch entsprechend für Widerstände  $\gamma_M$  möglich. Aus der Literatur, vgl. z.B. [DAfStb 467, 1996], [DS805, 1991], sind für die dort einschlägigen Anwendungsbereiche – derzeit nicht übertragbar für Wasserbauwerke – Teilsicherheitsbeiwerte für bestehende Bauwerke bekannt, die sich von denen für einen Neubau unterscheiden.

		nach DIN 1045-1	nach DAfStb 467
Ständige Einwirkungen	$\gamma_F$	1,35	1,15
Beton	$\gamma_M$	1,5	1,4
Betonstahl	$\gamma_M$	1,15	1,1

**Tabelle 1:** Teilsicherheitsbeiwerte für neue, vgl. DIN 1045-1, 2001, und für zu verstärkende Bauwerke, vgl. DAfStb 467, 1996

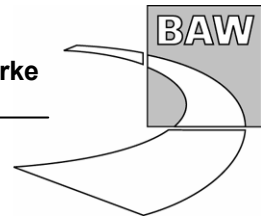
Ebenfalls lässt sich in Verbindung mit einer statischen Nachweisführung  $\gamma_{sys}$  über das aus Beobachtungen und Messungen verifizierte statische Modell anpassen, ggf. bis zu  $\gamma_{sys} = 1,0$ .

### 3.2 Statische Nachweisführung

Mit den bewerteten Einwirkungen, Materialkennwerten und Ergebnissen von Bauwerksmessungen ist eine realistische Beurteilung des Bauwerks durchzuführen. Eine realistische Beurteilung des Bauwerks setzt über die bewerteten Randbedingungen in der Regel ein an der Natur geeichtes statisches Modell voraus, wobei die Einwirkungen auf Messungen bzw. Beobachtungen, die Materialkennwerte auf Versuchen beruhen und die gemessene Bauwerksverformungen in der statischen Berechnung plausibel nachvollzogen werden können. Für Wasserbauwerke ist insbesondere die Bauwerk-Boden-Interaktion beim Setzungsverhalten und bei der Mobilisierung des Erddruckes zu berücksichtigen.

Angesichts der früher zur Verfügung stehenden Rechenverfahren und –methoden waren statische Systeme vielfach einfacher und damit gröber. Auch die früher gängigen Berechnungsverfahren (z.B. elastische Verfahren) und Bemessungsmethoden (z.B. zulässige Spannungen) erlauben mit heute weitergehenden Verfahren und Methoden, Reserven offen zu legen und Sicherheiten zu erkennen.





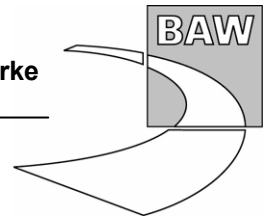
In einigen Fällen der Nachrechnung von Bauwerken bleiben bei der Nachweisführung mit üblichen linear-elastischen Verfahren Sicherheitsdefizite, die sich nur mit nicht-linearen Überlegungen beherrschen lassen, die eine realitätsnahe Systemtraglast ermitteln und Reserven offen legen. Am Beispiel von Wasserbauwerken, die in Interaktion zum Baugrund stehen, sind dies aufwändige Untersuchungen, die in der Ingenieurpraxis wegen des Aufwandes nicht etabliert sind. Erlaubt die einschlägige [DIN 1045-1, 2001] zwar nicht-lineare Verfahren, so fehlen hierin eindeutige und widerspruchsfreie, auch in der Praxis erprobte Regeln. Begründete und fachlich belegte Abweichungen bzw. Auslegungen erscheinen notwendig. Ebenfalls Formeln in [DIN 1045-1, 2001] zur Querkraftbemessung sind für stabförmige Bauteile empirisch abgeleitet und treffen nicht die Verhältnisse von z.B. im konstruktiven Wasserbau anzutreffenden scheibenförmigen Bauteilen. Auch hier trifft der Vermutungsgedanke der Norm als anerkannte Regel der Technik per se nicht zu, so dass plausibel begründete Abweichungen notwendig werden dürften, nicht nur für bestehende Bauwerke.

Die Tragsicherheit bestehender Bauwerke sollte unter Beachtung des Verformungsvermögens und der Versagensart beurteilt werden. Umlagerung der inneren Kräfte sowie ein Versagen durch Vor-Ankündigung lassen auf eine gutmütige Konstruktion schließen, für die die Beobachtungsmethode eine geeignete Maßnahme zur Abwehr von Gefahren und zum Nachweis der Sicherheit sein kann. Der Grenzzustand ist dabei rechnerisch zu ermitteln und das Ankündigungsverhalten im Sinne eines progressiven Versagens-Szenarios zu beschreiben. Die Beobachtungsmethode beinhaltet die laufende messtechnische Kontrolle des Bauwerks in Verbindung mit der ständigen Anpassung des statischen Modells. Sie empfiehlt sich daher bei komplizierten statischen Systemen sowie bei Unsicherheiten bezüglich des Tragverhaltens, wenn dies durch Modelle nicht wirtschaftlich oder zuverlässig eingegrenzt werden kann.

In diesem Zusammenhang ist auch eine regelmäßige Inspektion von Bauwerken einzuordnen, vgl. z.B. [BMV, 1985], die auch zu einer Bewertung der Sicherheit beitragen kann, vgl. z.B. [SCHNETGÖKE, R; KLINZMANN, C; HOSSER, D.; 2006]

### **3.3 Beurteilung der Sicherheit**

Wird der Nachweis der Sicherheit nach dem stufenweisen Vorgehen nicht oder nicht ausreichend zuverlässig erbracht, so könnte dann eine ausreichende Sicherheit vermutet werden, wenn ein über längere Zeiträume genutztes Bauwerk bei eingehender und fachkundig durchgeführter Zustandsaufnahme keine verdächtigen Mängel und Schäden (Verschiebungen, Verformungen, Schwächungen, Risse, Korrosion, etc.) erkennen lässt und wenn sich für die Restnutzungsdauer weder Einwirkungen noch Nutzungen verändern. Diese Beurteilung ist ausreichend zu dokumentieren und ggf. zu ergänzen durch ingenieurmäßige Überlegungen sowie



durch Erfahrungen mit vergleichbaren Bauwerken. Die Möglichkeit plötzlichen Versagens, also ohne Vor-Ankündigung, ist zu bewerten.

Bei der Beurteilung zur Sicherheit darf von den in den Normen festgelegten Anforderungen abgewichen werden, sofern auf dem Stand von Wissenschaft und Technik, z.B. durch neuere theoretische Überlegungen, durch Messungen oder Versuche:

- eine dem Regelungsstatbestand gleichwertige Sicherheit bzw. Zuverlässigkeit nachgewiesen wird, aber auch
- ein Versagen des Bauwerks auf einem allgemein akzeptierten Risikoniveau ausgeschlossen werden kann.

Es bleibt die Frage, ob das Risikoniveau eines bestehenden Bauwerks das gleiche sein muss wie das für ein neu herzustellendes Bauwerk, das über Normen im Sinne allgemein anerkannter Regeln der Technik dimensioniert wird. Die Anforderungen an bestehende Bauwerke können nach [VROUWENVELDER, 1993] am ehesten auf der Grundlage eines auf Wahrscheinlichkeiten beruhenden Regelwerks diskutiert werden. Neben aktualisierten Informationen zu Einwirkungen und Widerständen, vgl. 3.1, kann auch die Diskussion von Restnutzungsdauern bereits im „gängigen“ Konzept der Teilsicherheiten verwendet werden.

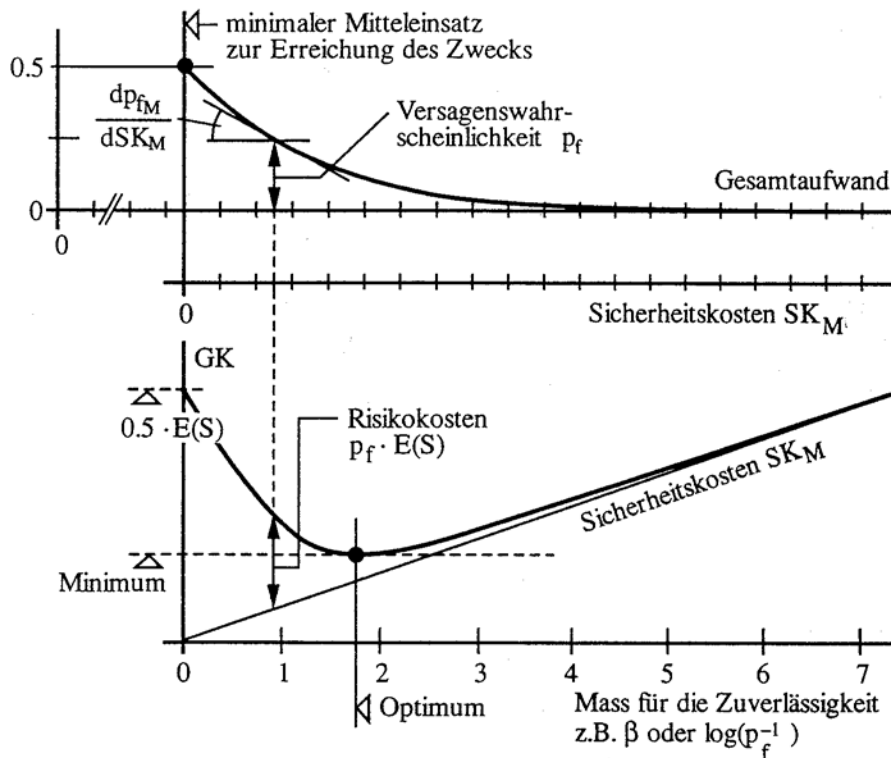
Eine weitergehende Bewertung, die eine stärkere Anpassung des Sicherheitsniveaus für bestehende Bauwerke erlauben würde, sind:

- z.B. Vergleiche mit praktisch akzeptierten Risiken,
- z.B. Vergleiche über Häufigkeits-/Ausmaß-Diagramme und
- z.B. Anpassung des Sicherheitsniveaus über die Wirtschaftlichkeit etwaiger Sicherungsmaßnahmen (z.B. ALARP = as low as reasonable practicable; z.B. Rettungseffizienz von Sicherheitsmaßnahmen, etc),

vgl. [SCHNEIDER, J.; 1993] und Bild 3.

Im Zusammenhang mit der Nachrüstung von Schleusen mit Stoßschutzeinrichtungen vor den Toren wurde bereits Ende der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts seitens des Bundesministers für Verkehr und damit bauaufsichtlich das Kriterium der Wirtschaftlichkeit im Rahmen der Abwägung benutzt. Die Erhöhung der Anlagensicherheit durch den nachträglichen Einbau eines Stoßschutzes sollte gegenüber Beeinträchtigungen der Schifffahrt über gesamtwirtschaftliche Nutzen-Kosten-Kriterien gegeneinander abgewogen werden, [BMV, 1978].

Derartige weitergehende Bewertungen, ob im Einzelfall oder auch als eine denkbare künftige Regelung, müssen unbedingt mit der bauaufsichtlich verantwortlichen Stelle abgestimmt und festgelegt werden.



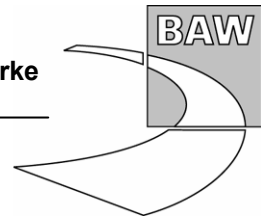
**Bild 3:** Optimierung der Sicherheitskosten, vgl. [SCHNEIDER, 1993]

Ist aus der vertieften Beurteilung zu erkennen, dass - unter Berücksichtigung des Tragwerk-Verhaltens - das akzeptierte Risikoniveau für die Sicherheit von Menschen und Umwelt überschritten wird oder das sehr große wirtschaftliche Schäden zu erwarten sind, so sind umgehend Sicherungs- bzw. Verstärkungsmaßnahmen vorzusehen.

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

Aus vielfachen Notwendigkeiten heraus, die Sicherheit bestehender Wasserbauwerke zu überprüfen, wurden baurechtliche Aspekte hinsichtlich der Anwendung von Normen betrachtet. Nachdem es qualitativ und quantitativ ausreichende Normen für bestehende Wasserbauwerke nicht gibt, bleibt in einem ersten Schritt die Anwendung aktueller, eigentlich auf den Neubau ausgerichteter Normen, den so genannten „anerkannten Regeln der Technik“, obwohl sich Verhältnisse und Randbedingungen zwischen Neubau und Bestand offensichtlich unterscheiden. Diese Unterschiede führen häufig zu rechnerischen Sicherheitsdefiziten, obwohl das bestehende Bauwerk keine Auffälligkeiten zeigt.

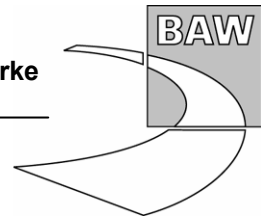
Es wird als Vorüberlegung herausgearbeitet, dass bei Anwendung aktueller Normen durchaus die Notwendigkeit, ja sogar die Verpflichtung zur begründeten Aktualisierung und Anpassung von Regelungen besteht. Mit weitergehenden Verfahren könnten so Sicherheitsdefizite relativiert werden, wobei selbst eine quantitative Anpassung der „Sicherheit“, abgestimmt mit der



Bauaufsicht, möglich erscheint. Für Wasserbauwerke besteht ein Bedarf an einer Regelung für den Umgang mit bestehenden Bauwerken.

## **5 Literatur**

- BMV, 1978                      Richtlinien für die Ausrüstung der Schleusen der Binnenschiffahrtsstraßen; hier: Stoßschutzeinrichtungen. Erlass BW21/52.08.03-1/103 Ver 77, vom 12. Mai 1978; unveröffentlicht
- BMV, 1985  
1985                              VV-WSV 2101, Bauwerksinspektion, Bundesministerium für Verkehr,
- BMV, 1993                      Bundesministerium für Verkehr: Erlass „Rechtsfragen der Verantwortung der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes für die Sicherheit und Ordnung bei baulichen Anlagen“. BW 16/52.01.01-8/6 VA 93 vom 09. Februar 1993; unveröffentlicht
- BUDDE, E., 1975              Grundsätze für die Anwendung von DIN-Normen. DIN-Mitteilungen Band 54 (1975), Heft 1
- DAfStb 467, 1996              Verstärken von Betonbauteilen - Sachstandsbericht -. Heft 467, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Berlin 1996
- DIN 820, 1994                  Normungsarbeit – Grundsätze, 1994-04
- DIN 1045-1, 2001              Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Teil 1: Bemessung und Konstruktion. 2001-08
- DIN 1055-100, 2001          Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln, 2001-03
- DIN 19702, 1992              Standsicherheit von Massivbauwerken im Wasserbau, 1992-10.
- DS 805, 1991                  Bestehende Eisenbahnbrücken, Bewertung der Tragsicherheit und konstruktive Hinweise. DS 805. Deutsche Bundesbahn, Mai 1991
- GRUSIBAU, 1981              Grundlagen für die Sicherheitsanforderungen von baulichen Anlagen. DIN / Beuth-Verlag, Berlin 1981
- LBO-Ba-Wü, 2004              Landesbauordnung für Baden-Württemberg, Fassung vom 08.08.1995, zuletzt geändert 14.12.2004
- MBO, 2002                      Musterbauordnung, Fassung November 2002
- THIEL et al.                    Baurecht in Nordrhein-Westfalen – Kommentar zur Landesbauordnung. Karl Heymanns Verlag GmbH
- SCHNEIDER, J.; 1993                      Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen. Teubner-Verlag, Stuttgart, 1993
- SCHNETGÖKE, R.; KLINZMANN, C; HOSSER, D.; 2006                      Zuverlässigkeitsorientierte Bewertung von Bauwerken auf Grundlage der Bauwerksüberwachung. In: Beton- und Stahlbetonbau 101 (2006), Heft 8.
- VROUWENVELDER, 1993                      Codes of Practice for the Assessment of Existing Structures. In: IABSE Colloquium „Remaining Structural Capacity“, Copenhagen 1993, IABSE report no. 467
- WaStraG                          Bundeswasserstraßengesetz
- WEYER, U., 2004                  Anspruch und Wirklichkeit semiprobabilistischer Bemessungskonzepte. In: Stahlbau 73 (2004), Heft 9.



Dipl.-Ing. H. Becker, Dipl.-Ing. R. Ehmann, Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe  
**Historische Wasserbauwerke ohne rechnerische Standsicherheit**

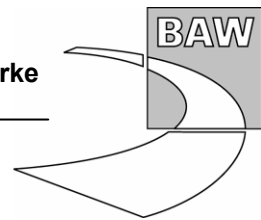
## **1. Einleitung**

Wird heutzutage ein neues Bauwerk errichtet, so gibt es für nahezu jedes Element eine Vorschrift bzw. Norm, welche sowohl im Bereich der Planung als auch für die Bauausführung das als aktuellen Stand der Technik definierte Leistungsniveau sicherstellt. Gerade in den vergangenen Jahren ist im Zusammenhang mit der sogenannten „Normumstellung“, bei der neben den Normen ein mittlerweile unüberschaubares Vorschriften- und Erläuterungswerk (bis hin zu den Erläuterungen der Erläuterung der Norm) den in Planung und Ausführung Tätigen übergestülpt wurde, eine Regulierung (oder schon Überregulierung?) bis in kleinste Details erfolgt. Der planende Ingenieur verlässt sich dabei immer mehr auf das reine Befolgen des Vorschriftenwerks, da eigenes Denken später (zumindest juristisch) ggf. teuer bezahlt werden muss. Oftmals stellt sich dabei die Frage, wie das Errichten von Bauwerken ohne Normung früher überhaupt klappen konnte...

Die Anfänge der Normung in Deutschland beginnen im letzten Viertel des 19. Jahrhunderts, bzw. nach Gründung des deutschen Kaiserreiches 1871. Dies war in so fern ein entscheidender Einschnitt, als dass dadurch auch neue hoheitliche Vorschriften allmählich deutschlandweit Gültigkeit bekamen, während in der Vergangenheit jeder Teilstaat seine eigenen Vorschriftenwerke, Maßordnungen, Geldwährungen, usw. besaß. So entstanden im Jahr 1872 die ersten Vorschriften bezüglich der zulässigen Spannungen von Eisen, Holz und Mauerwerk. Beton, welcher im Zusammenhang mit der Verbreitung von Portlandzement nach rund 1500 Jahren um die Jahrhundertwende zum 20. Jahrhundert einen rasanten Aufstieg erlebte, folgte im Jahr 1904 mit den „Bestimmungen für die Ausführung von Konstruktionen aus Eisenbeton bei Hochbauten“. Diese Vorschriften bzw. Bestimmungen wurden später vom Normenausschuss der deutschen Industrie (NADI) weiterentwickelt, woraus unsere heutigen DIN-Normen entstanden.

Bauwerke vor 1872 (s. hierzu auch die Altersstruktur der WSV-Schleusen, Bild 1) sind im Allgemeinen nach dem Vorschriftenwerk des jeweiligen Territorialstaates gebaut, welcher baupflichtig war. Dabei regelte das Vorschriftenwerk mehr die verwaltungstechnische Seite als die Konstruktion, so dass hieraus selten Konstruktionsprinzipien abgeleitet werden können. Wesentlichen Einfluss auf die Konstruktion hatte dabei der jeweilige Baumeister, welcher bei staatlichen Bauten in der Regel ein Beamter war.

Sowohl durch den jeweiligen „Personalstil“ als auch durch die territoriale Aufspaltung Deutschlands ergeben sich unterschiedliche Bauprinzipien und –konstruktionen, welche es bei der Beurteilung und Prüfung von Bauwerken zu beachten gilt. Andererseits sind Forderungen heutiger Normen, oftmals auch hinsichtlich der Standsicherheit, nicht zu erbringen, obwohl das Bauwerk schon 150 Jahre oder länger ohne größere Schäden hinter sich ge-



bracht hat. Anhand zweier Schleusen der alten Ems aus der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts soll die Thematik erläutert werden.

## Altersstruktur WSV-Schleusen

(Kammern)

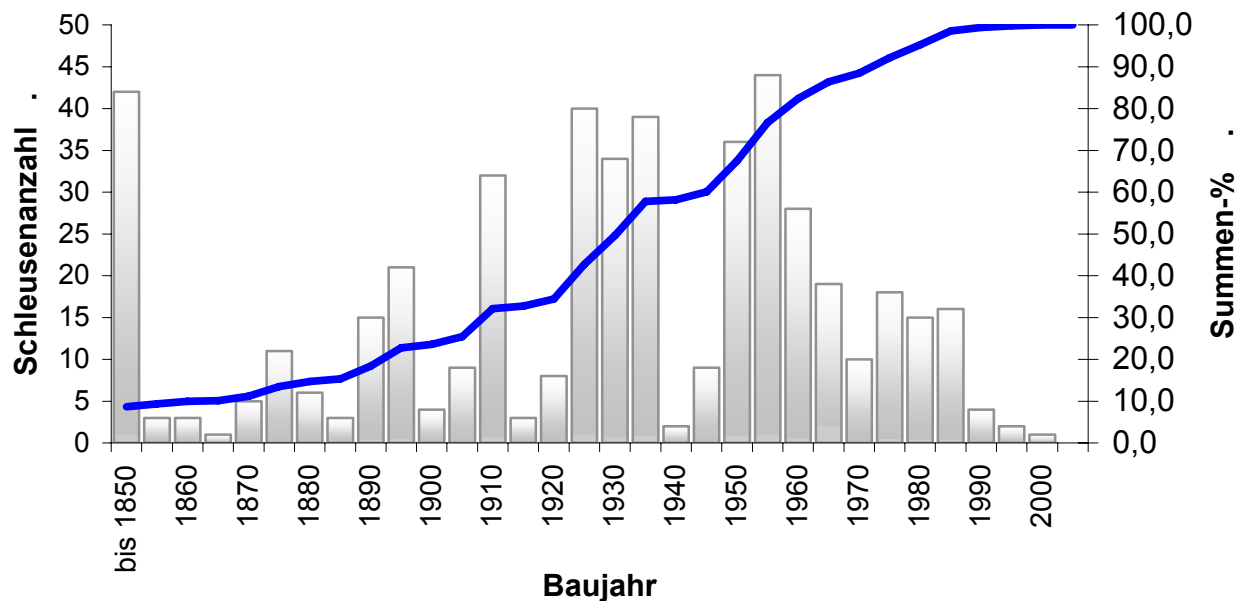


Bild 1: Altersstruktur der WSV-Schleusen

## 2. Kurzzusammenfassung zum Stand der „allgemein anerkannten Regeln der Baukunst“ in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts

Entgegen dem privaten Hausbau der damaligen Zeit, bei welchem die Dimensionen der Bauteile oftmals von den ausführenden Zimmerleuten gemäß ihrer Erfahrung festgelegt wurden, waren bei staatlichen Bauten entsprechende Baubeamte eingesetzt, welche in ihrer Ausbildung für den Entwurf von Bauwerken eine theoretische Ausbildung erhielten. Gerade in Preußen bildete sich aufgrund anderweitiger schlechter Erfahrung ab Ende des 18. Jahrhunderts eine Bestrebung aus, welche das Bauniveau landesweit vereinheitlichen und heben sollte bei gleichzeitig sparsamen Umgang mit den Finanzen. Daher wurde 1770 gemäß [L14] in Berlin mit dem Oberbaudepartement eine zentrale Stelle gegründet, der fortan sämtliche Bauetats und –anschlüsse zur Prüfung vorzulegen waren und welche die Prüfung der Baubeamten in den Provinzen abnehmen sollte. Um fähige Baubeamten zu erhalten wurde zunächst von Mitgliedern des Oberbaudepartments 1793 eine private Bauschule betrieben, welche, aufgrund von Streitigkeiten mit der Akademie der Künste zunächst beendet, im Jahr 1799 in die Gründung der Bauakademie mündete. Unter anderem wurde dabei jeweils schon Unterricht in Fächern wie Statik, Hydrostatik, Strombaukunst, Konstruieren und praktische Ausführung der Wassergebäude, Brücken, Schleusen, Kanälen gehalten.

Durch die Zentralisierung sowohl der Ausbildung von Baubeamten als auch der Prüfung von Bauentwürfen wurde eine Hebung und Vereinheitlichung des Bauniveaus erreicht. Dieses führte in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts gerade im Schleusenbau zu einer Vereinheitlichung der Bauprinzipien, so dass „das Rad nicht jeweils neu erfunden werden musste“. Die Herausgabe von Fachzeitschriften, welche zumindest innerhalb der preußischen Bauverwaltung weite Verbreitung fanden, unterstützten diese Bestrebungen zusätzlich (z.B. „Journal für Baukunst“ 1829 bis 1851, „Zeitschrift für Bauwesen“ ab 1851)

Weiterhin legten für den Wasserbau schon in früheren Jahrhunderten verschiedene Werke das früher aus Erfahrung gewonnene technische Wissen schriftlich nieder. Die verschiedenen, teilweise sich auch widersprechenden Werke, mündeten schließlich in das Standardwerk für den Wasserbau im beginnenden 19. Jahrhundert, die aus 5 Bänden und einem Atlasband bestehende „Allgemeine auf Geschichte und Erfahrung gegründete theoretisch-practische Wasserbaukunst“ von C.F. Wiebeking. Zusammen mit dem Vorlesungsunterlagen der königlichen Bauakademie zu Berlin bilden sie sozusagen die „allgemein anerkannten Regeln der Baukunst“ im beginnenden 19. Jahrhundert.

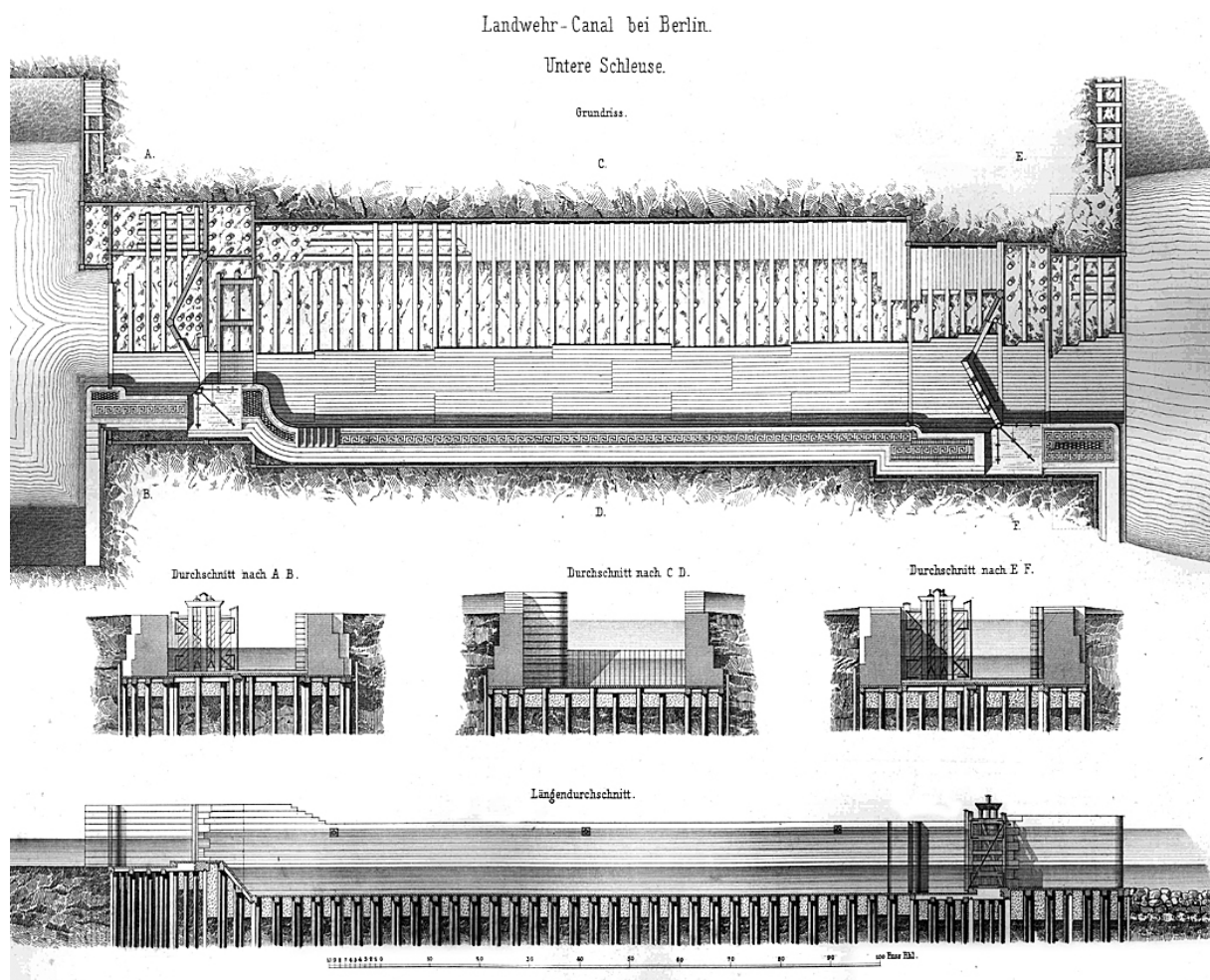
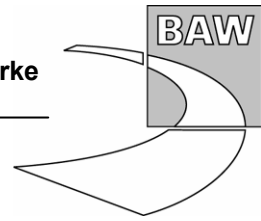


Bild 2: Beispiel einer Schleuse aus Holz und Stein, Mitte 19. Jahrhundert



### **3. Begutachtung der Emsschleusen Listrup und Bentlage**

#### **3.1 Vorbemerkungen zum Schleusenbau**

Beide Schleusen stammen aus der 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts und sind weitgehend original erhalten. Grundsätzlich kannte man damals 3 Schleusenbauarten [L2]:

- Schleusen ganz aus Holz
- Schleusen aus Holz und Stein (s. Bild 2)
- Schleusen ganz aus Stein

Weitere Bauarten, wie z.B. mit geböschten und nur befestigten Kammerwänden waren eher Einzelfälle.

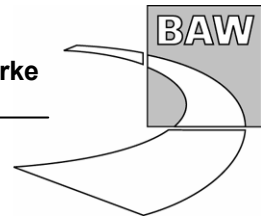
Gemäß [L1] richtete sich die Wahl zwischen den Arten Schleuse aus „Holz und Stein“ oder „ganz von Steinen“ in erster Linie nach der Güte des Baugrundes: Schleusen „ganz von Steinen“ konnten demnach nur „auf guten und durchaus festen Baugrund“ erfolgen. Der Schleusentyp aus „Holz und Stein“ (Sohle aus Holz, Wände aus Stein; bei schlechtem Baugrund ruht die Sohle auf einer Pfahlkonstruktion) wurde ebenso wie jener „ganz von Holz“ sowohl für „mittelmäßigen“ als auch für „schlechten oder unsichern Boden“ angewendet. Dafür erforderliche Baugrunderkundungsmaßnahmen über Schürfgruben (empfohlen ca. 3,0 bis 4,5 m tief), „Erdbohrer“ und/oder „Sondirstange“ zur Probenentnahme, Proberammung eines Pfahls und/oder Ermitteln des Eintriebwiderstandes bei Einrammung der „Sondirstange“ mit dem „Rammklotz“ waren um und nach 1800 gängige Verfahren zur Einklassifizierung des Baugrundes.

Beton war zu dieser Zeit nur anfänglich wieder bekannt und wurde daher auch nur für untergeordnete Bauteile (z.B. Ausmauerungsersatz zwischen dem Holzrost der Sohle) verwendet. Gemauerte Kammerwände wurden sowohl ohne Strebepfeiler als auch mit Strebepfeiler auf der Erdseite ausgeführt. Bei Ausführung mit Strebepfeiler verringerte man im Allgemeinen etwas die Wandstärke als sie bei Ausführung ohne Strebepfeiler notwendig gewesen wäre. Wiebeking plädiert in [L1] für die Ausführung ohne Strebepfeiler. Seine in [L1] aufgeführten Beispiele von ausgeführten Schleusenbauten zeigen jedoch, dass Strebepfeiler in den Kammerwänden im mitteleuropäischen und englischen Raum keine Seltenheit waren.

Über das Einbringen der Hinterfüllung sei auf das Zitat aus [L2] verwiesen. Auch [L1] äußert sich in ähnlicher Weise:

„Die Füll-Erde sollte nicht eher hinter eine neue Futtermauer geschüttet werden, als bis die Mauer ausgetrocknet ist; da man aber in der Regel nicht so lange warten kann, so muss die Schüttung um so sorgfältiger geschehen. Hierzu gehört, dass man die Erde anfänglich nur bis auf die Hälfte, höchstens bis auf zwei Drittel der Höhe der Mauer hineinschüttet, den übrigen Theil aber erst nach vollkommener Austrocknung





der Mauer. Wenn mit der Schüttung angefangen werden soll, so wird zuvörderst die Erde hinter dem Roste, oder dem Fusse der Mauer möglichst wagerecht geebnet und mit der Handramme festgestampft. Hierauf wird eine etwa 1 Fuss hohe Schicht fette Erde herbei gekarrt, unmittelbar hinter der Mauer aber, etwa auf 1 bis 2 Fuss breit, trockener Lehm statt der Füll-Erde gelegt, welcher zugleich mit der ganzen Erdschicht von der Mauer abwärts bis gegen die feststehende oder gewachsenen Erde, so festgestampft wird, dass vom Druck der hernach noch darauf zu bringenden Erde kein weiteres Nachsinken zu befürchten ist. Mit jeder folgenden Erdschicht wird auf ähnliche Art verfahren, und darauf gehalten, dass alle Schichten wagerecht gemacht werden.“ [L2]

„Bey der Füllerde hinter Futtermauern, also auch hinter Schleusenmauern, tritt aber noch der Umstand ein, a) dass man sie nicht nur fest stampft, folglich ihre Theile zusammenpresst und b) dieselbe einer Wahl unterwirft, das ist nur guten Füllgrund, der fett ist und sich daher fest untereinander verbindet, wählt.“ [L1]

Eisen und Stahl sollten nach [L1] nur für „Schleusenbeschläge“ oder Schrauben verwendet werden. Grundsätzlich rät Wiebeking, „man muss dessen Gebrauch so viel nur immer thunlich vermeiden; insonderheit selten als Klammern, welche gestohlen werden, verwenden“. Wie man hierbei erkennen kann, sind manche Mängelerscheinungen am Bauwerk von Bauart, Bauausführung und Bauzeit unabhängig.

### **3.2 Schleuse Listrup (Vollendung 1828)**

Im Vorfeld zur Begutachtung wurde ein Untersuchungsprogramm für die in Aufbau und Konstruktion unbekannte Schleuse (Bild 3) festgelegt, das damals aus der Sichtweise von moderneren Schleusenbauten entworfen wurde und heute zumindest in Teilen für ältere Bauwerke nicht mehr zu empfehlen ist. Neben der Erkundung der Hinterfüllung mittels Bohrung wurden Wand und Sohle an verschiedenen Stellen bis in das anstehende Erdreich hinein durchbohrt, um die Materialkennwerte sowie die Wand- und Sohlstärke zu ermitteln. Während die Untersuchungen an der Wand ohne weitere Zwischenfälle verliefen führte die Bohrung durch die Sohle ab einer bestimmten Tiefe zu einem plötzlichen und erheblichen Wassereinbruch, der den Abbruch der Bohrung erzwang. Vermutlich wurde mit der Bohrung eine planmäßig eingebrachte (Ton-) Dichtungsschicht durchbohrt, welche bei Schleusen dieser Bauzeit oftmals zur Erzielung der Dichtigkeit unter der Sohle und auch hinter den Kammerwänden angeordnet wurde. Unterhalb der Wände mittels Vertikalbohrungen angetroffenes Holz deutet darauf hin, dass die Schleuse zum Typ der Schleuse aus „Holz und Stein“ gehört. Die hölzerne Sohle wurde dabei mit Sandsteinplatten abgedeckt (erkundeter Querschnitt s. Bild 4).

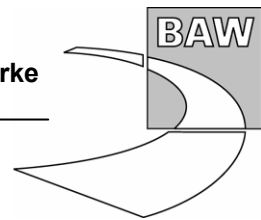


Bild 3: Schleuse Listrup

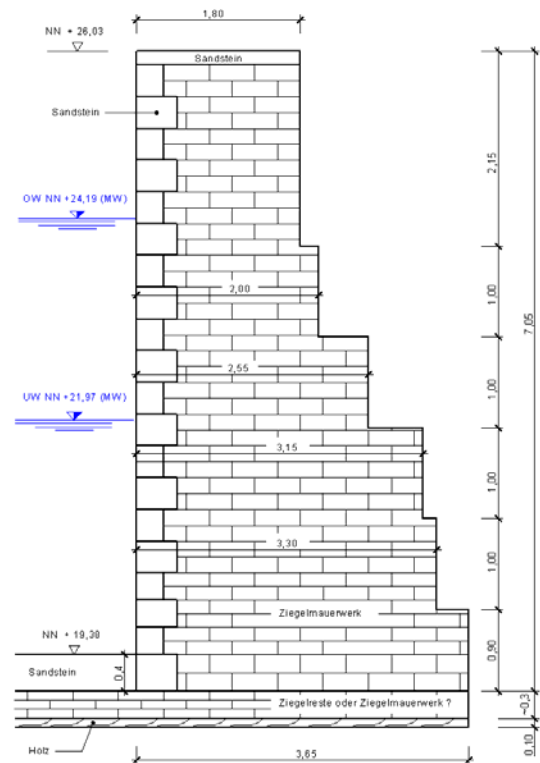
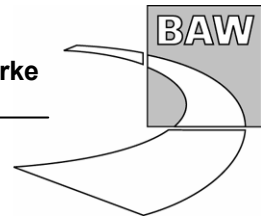


Bild 4: Querschnitt Kammerwand

Mit den Bodenkennwerten der Hinterfüllung sowie den erkundeten Abmessungen und Materialkennwerten der Kammerwände erfolgte der Standsicherheitsnachweis in Bezug auf Kippen sowie Tragfähigkeit des Mauerwerks. Der Kippnachweis (bzw. Resultierende im Kern) und der Schubnachweis erbrachte für den Betriebslastfall Werte, welche geringer als die heute erforderlichen Sicherheiten (allerdings nach zwischenzeitlich „alter Norm“) sind, aber größer als 1,0. Mit Hilfe einer Verankerung der Kammerwände könnte die Standsicherheit auf das erforderliche Maß erhöht werden. Dies würde allerdings bedeuten, dass eine evtl. vorhandene Tonabdichtung durch die Verankerung zerstört wird und letztendlich eine Verschlechterung des Bauzustandes eintritt. Dasselbe gilt auch für den Austausch des Hinterfüllungsmaterials durch solches mit geringerem Gewicht.

Dagegen sind ermüdungsgefährdete Bauteile (z.B. Spannstahl, schlaaffe Bewehrung, Stahlkonstruktionen) nicht vorhanden, der Nachweis auf Resultierende im Kern („Kippnachweis“) wird von der Bauteilermüdung zudem nicht beeinflusst. Die Mörtelgüte bzw. die Haftscherfestigkeit wurde aus Probekörper im unteren Kammerwandbereich ermittelt und spiegeln in ihren Werten den aktuellen Zustand wider. Da die Hauptnutzungszeit der Schleuse mit größeren Wechselbeanspruchungen durch Schleusungsvorgänge spätestens seit Eröffnung des Dortmund-Ems-Kanals im Jahr 1899 vorbei ist, während heute nur noch relativ selten Schleusungsvorgänge stattfinden, ist mit einer ermüdungsbedingten Verschlechterung der Mauerwerksgüte nicht zu rechnen.



Es ist davon auszugehen, dass die Schleuse Listrup in den vergangenen 175 Jahren sämtliche Beanspruchungen sowie auch die für eine übliche Standzeit eines Schleusenbauwerks zu erwartenden Extremsituationen erlebt und überstanden hat. Die Schleuse Listrup hat somit sowohl ihre Standsicherheit und in Anbetracht nur geringer Schäden und den Extrembeanspruchungen der bisherigen Standzeit ihre ausreichende Standsicherheit hinreichend unter Beweis gestellt. Eine Überbeanspruchung des Mauerwerks wird sich ankündigen, zumal ein Nachgeben der Wand zunächst eine Reduzierung des anstehenden Erddrucks bewirkt. Dieser wird sich ggf. nach und nach wieder aufbauen und zu einer weiteren Kammerwandverformung führen. Wie man anhand der Erfahrungen mit der Oberschleuse Rheine (Ems) erkennen konnte, wiederholt sich dieses Spiel längere Zeit, ein Versagen der Wand (= Bruch) hat dort bis zur Sanierung nicht stattgefunden.

Während bei der Oberschleuse Rheine eine hinter der Kammerwand erst vor einigen Jahren aufgebrachte zusätzliche Auffüllung für die Wandbewegung verantwortlich war, haben in Listrup vermutlich seit der Erbauung, zumindest aber in den vergangenen Jahrzehnten keine Veränderungen (mit Ausnahme der Holztore) an Konstruktion, Wasserstand und Auffüllung stattgefunden. Eine Verschlechterung des Standsicherheitsniveaus ist nicht zu erwarten, ein kurzfristiges Versagen der Massivbauteile kann nach dem derzeitigen Kenntnisstand ausgeschlossen werden.

Die Schleuse weist im Zusammenwirken mit Baugrund und Hinterfüllung ein System auf, welches sich seit über 175 Jahren in Bezug auf Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit bewährt hat. Eine Sanierungsmaßnahme an oder bei der Schleuse erfordert einen Eingriff in dieses bewährte System; da die Schleusenkonstruktion nur mehr erahnt als bekannt ist, wären die möglichen Folgen letztendlich nicht abzusehen. Von einer Ertüchtigung der Schleuse zur Erhöhung der Standsicherheit bzw. Tragfähigkeit wurde daher abgeraten.

### **3.3 Schleuse Bentlage (Vollendet 1841)**

Das Untersuchungsprogramm entsprach dem der Schleuse Listrup. Eine spezielle Tondichtung wurde im Rahmen der Bohrung nicht festgestellt; alle Erkenntnisse deuten auf den Schleusentyp „Schleuse ganz aus Stein“ hin zumal die Sohle als umgekehrtes Gewölbe gemauert wurde (s. Querschnitt Bild 6).

Mit den Ergebnissen von Baugrund- und Materialerkundungen konnte die Standsicherheit und Tragfähigkeit für Kammer- und Stirnwände schon im normalen Betrieb nicht nachgewiesen werden. Größtenteils war noch nicht einmal eine einfache Sicherheit vorhanden (z.B. Kippen Kammerwand:  $\eta = 0,28!$ ). Untersuchte Verstärkungs- oder Entlastungsmaßnahmen brachten entweder nicht den gewünschten Erfolg oder ließen Folgeschäden erwarten (z.B. vorgespannte Verankerung der Wände im Baugrund).



Bild 5: Schleuse Bentlage

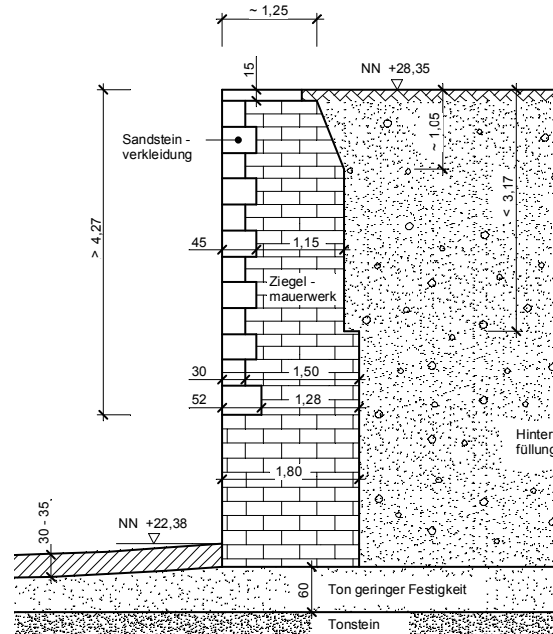


Bild 6: Querschnitt Kammerwand

Da auch diese Schleuse außer der Erhöhung der über das Oberhaupt geführten Brücke keine Änderung der Belastung und ihrer Konstruktion erfahren hat und ebenfalls keine größeren Schäden vorhanden sind, ist es schwer nachvollziehbar, warum sie bei einer über 160 Jahre faktisch nachgewiesenen Standsicherheit nun als nicht standsicher deklariert werden soll. Regelmäßig stattfindende Messungen am Bauwerk ergaben für die leicht geneigten Kammer- und Stirnwände keine Zunahme der Neigung. Aufgrund der am Anfang dieses Beitrages genannten Regelungen in Preußen ist es eher unwahrscheinlich, dass die Schleuse nicht über eine zumindest einfache Standsicherheit zur Bauzeit verfügt hat; ggf. sind weitere Elemente in der Konstruktion vorhanden, welche bisher nicht festzustellen waren.

Andererseits wurde auch hier, wie weiter oben erwähnt, damals sogenannte „fette“ Erde als Hinterfüllmaterial verwendet, was man auch an den hinter den Kammerwänden angelegten Schürfgruben sehen konnte. Die heutigen geotechnischen Prüfmethoden sind weniger auf solches Hinterfüllmaterial ausgerichtet und schätzen die Bodenkennwerte vorsichtig auf der sicheren Seite liegend ab. Gerade was die Kohäsion anbelangt sind Bodengutachten sehr vorsichtig, auch wenn nach Abbruch der Kammerwand die dahinter befindliche Erde vermutlich alleine stehen bleiben würde.

Hiermit können somit Begründungen gefunden werden, weshalb eine Standsicherheit bis heute da ist, wenngleich man sie nicht beweisen kann. Welche Möglichkeiten der Bauwerks-erhaltung bei nicht nachweisbarer Standsicherheit gibt es?





Bild 7: Schleuse Bentlage

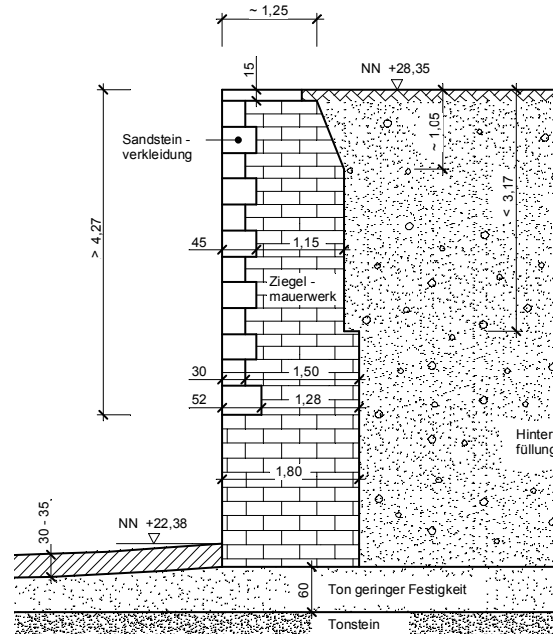
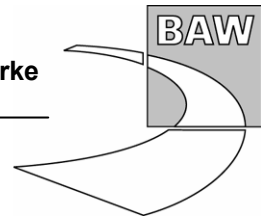


Bild 8: Querschnitt Kammerwand

Da auch diese Schleuse außer der Erhöhung der über das Oberhaupt geführten Brücke keine Änderung der Belastung und ihrer Konstruktion erfahren hat und ebenfalls keine größeren Schäden vorhanden sind, ist es schwer nachvollziehbar, warum sie bei einer über 160 Jahre faktisch nachgewiesenen Standsicherheit nun als nicht standsicher deklariert werden soll. Regelmäßig stattfindende Messungen am Bauwerk ergaben für die leicht geneigten Kammer- und Stirnwände keine Zunahme der Neigung. Aufgrund der am Anfang dieses Beitrages genannten Regelungen in Preußen ist es eher unwahrscheinlich, dass die Schleuse nicht über eine zumindest einfache Standsicherheit zur Bauzeit verfügt hat; ggf. sind weitere Elemente in der Konstruktion vorhanden, welche bisher nicht festzustellen waren.

Andererseits wurde auch hier, wie weiter oben erwähnt, damals sogenannte „fette“ Erde als Hinterfüllmaterial verwendet, was man auch an den hinter den Kammerwänden angelegten Schürfgruben sehen konnte. Die heutigen geotechnischen Prüfmethode sind weniger auf solches Hinterfüllmaterial ausgerichtet und schätzen die Bodenkennwerte vorsichtig auf der sicheren Seite liegend ab. Gerade was die Kohäsion anbelangt sind Bodengutachten sehr vorsichtig, auch wenn nach Abbruch der Kammerwand die dahinter befindliche Erde vermutlich alleine stehen bleiben würde.

Hiermit können somit Begründungen gefunden werden, weshalb eine Standsicherheit bis heute da ist, wenngleich man sie nicht beweisen kann. Welche Möglichkeiten der Bauwerks-erhaltung bei nicht nachweisbarer Standsicherheit gibt es?



Die neue DIN 1054 (Baugrund) sieht in Abschnitt 4.5 die Beobachtungsmethode als Kombination der üblichen geotechnischen Untersuchungen und Berechnungen mit einer laufenden messtechnischen Kontrolle des Bauwerks und des Baugrundes während dessen Herstellung und ggf. auch während dessen Nutzung vor, wobei kritische Situationen durch die Anwendung geeigneter technischer Maßnahmen beherrscht werden müssen. Diese von der BAW empfohlene Möglichkeit wurde zwischenzeitlich an der Schleuse mittels einer Dauermesseinrichtung eingerichtet, welche neben Temperatur und Wasserstände die Wandneigungen von Kammer- und Stirnwänden misst. Die Daten werden dabei automatisch von der Anlage ausgelesen, aufbereitet und an das WSA Rheine und die BAW Karlsruhe übermittelt.

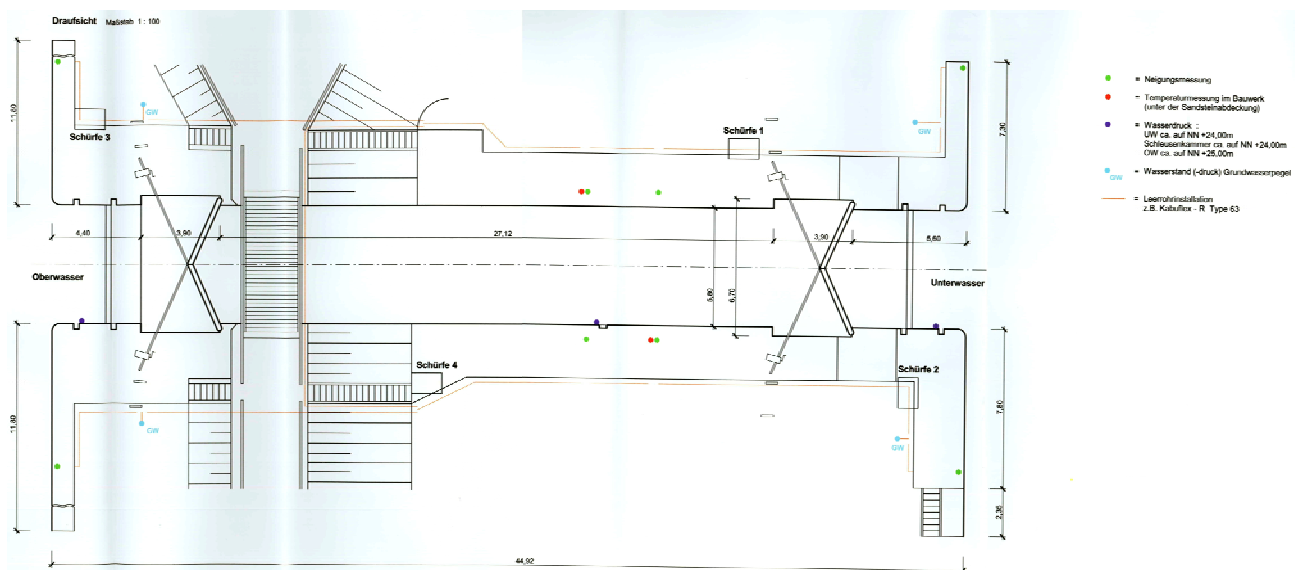
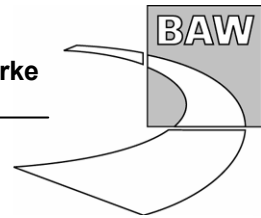


Bild 9: Grundriss der Schleuse mit Messstellen

Nach einem Probelauf von über einem Jahr werden nun Grenzwerte für die Wandneigungen definiert. Überschreiten die gemessenen Werte diese Grenzwerte, ist geplant, dass die Schleuse automatisch gesperrt wird. Außer einer größeren Neigungsänderung im Zusammenhang mit dem Bodenfrost, welche nach der Frostperiode sich (fast) wieder zurückentwickelte, sind keine nennenswerten Neigungsänderungen zu verzeichnen. Die bisherigen Messwerte stimmen daher zuversichtlich, dass eine Sperrung der Schleuse nicht eintritt.



Bauwerktemperaturen Kammerwasserstand und Neigungsentwicklung Kammerwände

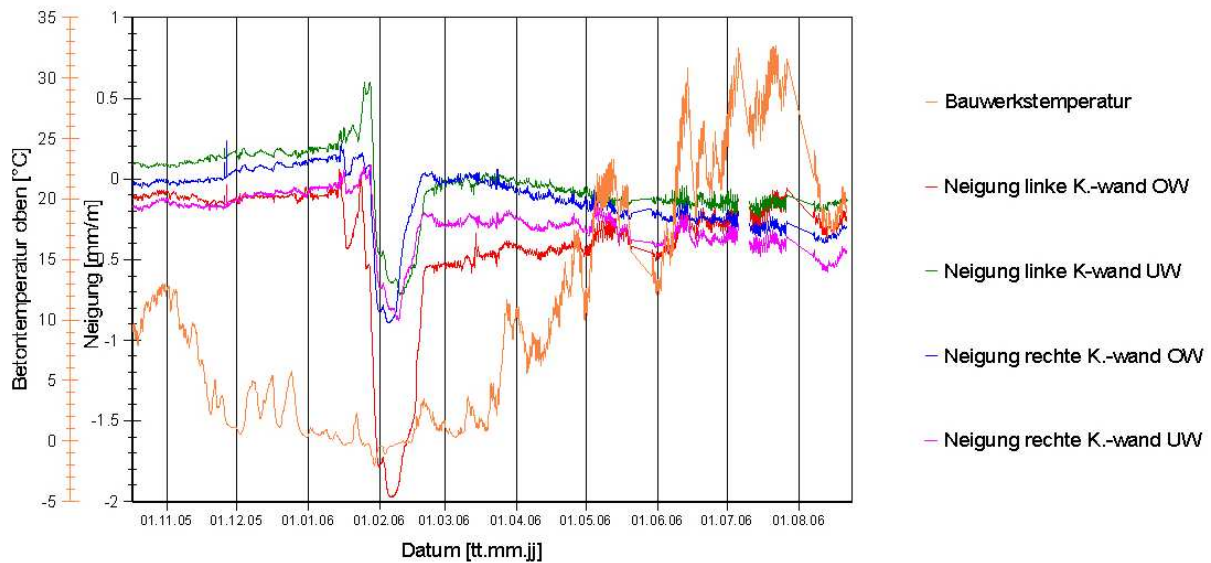


Bild 10: Messwerte Oktober 2005 bis August 2006 mit "Bodenfrostausschlag"

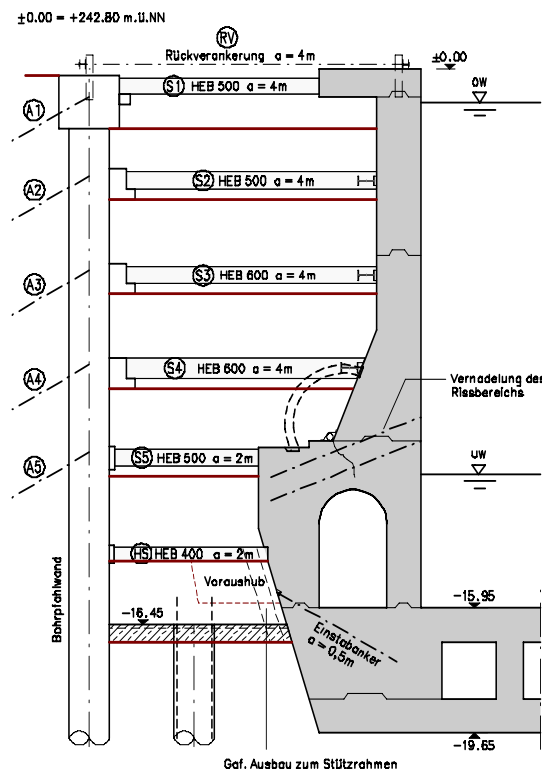
- [L1] C.F. Wiebeking Allgemeine auf Geschichte und Erfahrung gegründete theoretisch-practische Wasserbaukunst, vierter Band, Darmstadt, 1805
- [L2] Dietlein Grundzüge der Vorlesungen in der königlichen Bau-Academie zu Berlin über Straßen- Brücken- Schleusen- Canal- Strom- Deich- und Hafen-Bau, veröffentlicht im „Journal für die Baukunst“, Band 3 Heft 1 bis Band 5 Heft 4, veröffentlicht ab 1829
- [L3] R. Strecke Prediger, Mathematiker und Architekten – Die Anfänge der preußischen Bauverwaltung und die Verwissenschaftlichung des Bauwesens; in „Mathematisches Calcul und Sinn für Ästhetik“, die preußische Bauverwaltung 1770 – 1848; Duncker & Humblot GmbH, Berlin, 2000
- [L4] R. Strecke Anfänge und Innovation der preußischen Bauverwaltung; Veröffentlichung aus den Archiven Preußischer Kulturbesitz, Beiheft 6; Böhlau Verlag Köln Weimar Wien, Köln 2000

Dr.-Ing. M. Heunisch, König und Heunisch Planungsgesellschaft, Frankfurt  
**Tragwerksplanungen zur Instandsetzung der Schleuse Bamberg**

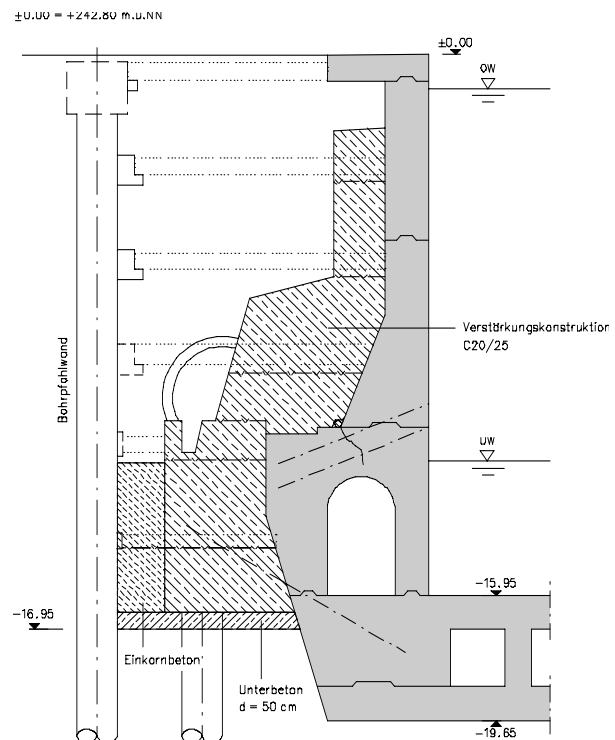
## 1 Einleitung

Die Schleuse Bamberg wurde 1962 als eine der ersten des Main-Donau-Kanals gebaut. Die Scheusenkammer wurde als monolithischer Trog errichtet. In den Kammerwänden sind Längskanäle integriert, die mit dem Grundlaufsystem verbunden sind. An die östliche Kammerwand ist ein begehbare Drainagekanal angegliedert. In ihm war in der Kehle der Kammerwand ein stark wasserführender Riss entdeckt worden, der mit dem Längskanal in Verbindung stand. Ein daraufhin initiiertes Messprogramm hatte gezeigt, dass am Kopf der Kammerwand stark erhöhte Bewegungen auftraten. Es war zudem festgestellt worden, dass die erdseitige Bewehrung im Bereich des Risses teilweise gerissen war. Daraufhin wurde die Kammerwand durch Rückverankerungen gesichert und die gerissene Bewehrung ertüchtigt.

Die Planung der Instandsetzungsmaßnahmen wurde ausgeschrieben, wobei Dorsch Consult mit den Nachunternehmern Schömigplan und KHP König und Heunisch den Auftrag erhielt. Über die Belange der Tragwerksplanung wird nachfolgend berichtet.

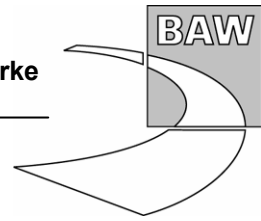


**Bild 1: Bauzustand**



**Bild 2: Verstärkungsmaßnahme**





## **2 Ausgangssituation**

Im Vorfeld der Ausschreibung hatte die Bundesanstalt für Wasserbau sehr ausführliche Untersuchungen zur Ursache für die Rissbildungen durchgeführt und Überlegungen zu möglichen Instandsetzungskonzepten angestellt. Sie kam zu dem Ergebnis, dass im Licht heutiger Sicherheitskonzepte nicht nur im Bereich des Risses ein Defizit vorhanden ist, sondern sich insbesondere im Bereich der Längskanalwände weitere Schwachstellen befinden. Inwieweit es an diesen Stellen ebenfalls zu Rissbildungen gekommen war, blieb ungeklärt, da der aktuelle Zustand der Schleuse deren vollständiges Entleeren zu Revisionszwecken verbietet. Als Ursache für das Versagen der Bewehrung wurde letztlich Schwingungsrissskorrosion festgestellt.

Vorgabe für die Planung war, dass nach erfolgter Instandsetzung der sichere Zustand der Schleuse gemäß dem neuen Normenkonzept nachweisbar sein soll – zumindest was die östliche Kammerwand betrifft.

## **3 Sofortmaßnahme**

Da zu befürchten war, dass nicht nur die schräg an der Kammerwandrückseite verlaufende sondern auch die horizontal unter dem Drainagekanal angeordnete Bewehrung gerissen sein könnte, wurde im Vorgriff auf die spätere Verstärkung eine Vernadelung des Rissbereichs ausgeführt. In nächtlichen Sperrpausen wurden bei Unterwasser von Pontons aus Bohrungen oberhalb des Längskanals eingebracht. In diese wurden Rippenstäbe in Spannstahlqualität eingestellt und voll vermörtelt, so dass wieder ein Kraftschluss über den Riss hinweg gegeben war. Dazu war in Vorversuchen 1:1 erprobt worden, ob unter den extremen zeitlichen und sonstigen Randbedingungen ein genügender Haftverbund zu erreichen ist, bevor am folgenden Morgen der Schleusenbetrieb wieder aufgenommen wird.

Die Protokolle der Bohrungen belegen, dass die Rissbildung sehr heterogen erfolgte. Der Riss wurde mal früher, mal später, mal als klaffender Einzelriss, mal als Harnischbereich angetroffen. Es wurde bestätigt, dass die durch den Riss gehende Horizontalbewehrung größtenteils gerissen sein musste. Nach der Vernadelung konnte festgestellt werden, dass die Kopfverformungen der Kammerwand nach der Vernadelung zurückgingen und somit ein Kraftschluss gelungen war.

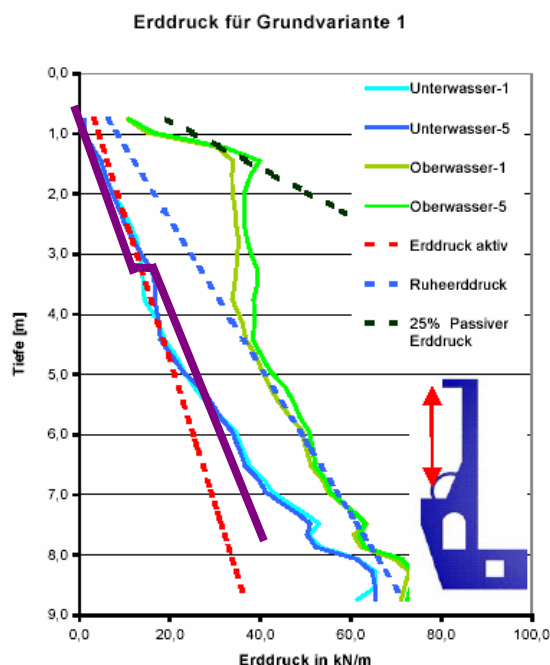
## **4 Ursprüngliche Bemessung der Kammerwand**

Da bei den vorgenannten Untersuchungen die Spannungen in der kritischen Bewehrung bereits unter Gebrauchlasten jenseits der garantierten Mindeststreckgrenze ermittelt wurden, ergibt sich die Frage, ob die ursprüngliche Berechnung fehlerhaft ist oder auf Fehleinschätzungen beruht.

Betrachtet man die horizontalen Erddruckansätze, so ergeben sich keine eklatanten Differenzen zwischen den Ansätzen der Ursprungsstatik und den mit heutigen Mitteln berechneten Werten. Allerdings wurden die vertikalen Komponenten des Erddruckes stark vereinfacht und günstig wirkend angenommen. Es wurde kein Wandreibungswinkel explizit angesetzt; aber das auf der Schräge der Kammerwandrückseite liegende Erdreich wurde im kritischen Schnitt 2 als überdrückend und rückdrehend angenommen. Aus diesem Grunde ergeben

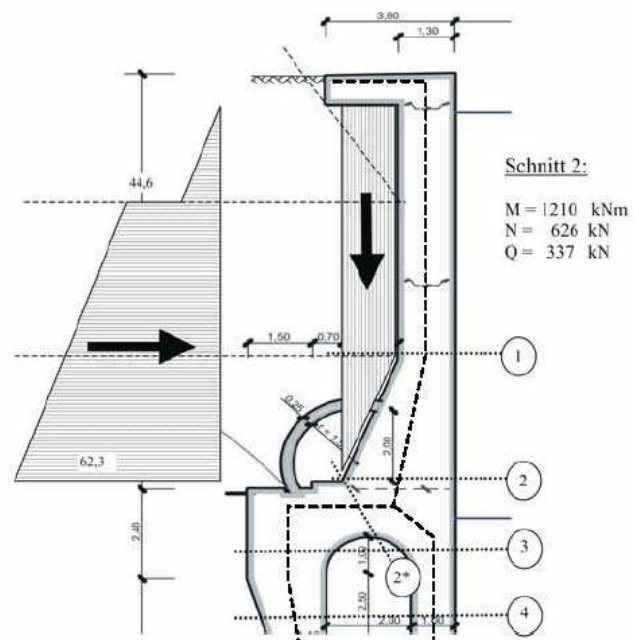
sich bei den heutigen Nachrechnungen etwas ungünstigere Schnittkraftkombinationen als in der Ursprungsstatik. Diese allein erklären aber nicht, weshalb sich Spannungen in der Größenordnung der Fließspannung des Stahls errechnen, wo doch bei der ursprünglichen Bemessung die zulässigen Spannungen bei  $f_{yk}/\gamma = 420 / 1,75 = 240 \text{ N/mm}^2$  lagen.

Zur Bauzeit wurde das Konzept der zulässigen Spannungen der Bemessung zugrundegelegt. Das heißt es wurden die Schnittgrößen unter Gebrauchslasten (charakteristische Werte) ermittelt und dafür die Bemessung so durchgeführt, dass die zulässigen Spannungen der Materialien an keiner Stelle überschritten wurden. Die Sicherheitsmargen wurden somit allein auf der Seite der Materialfestigkeit eingebaut, indem diese nur zu einem Bruchteil ausgenutzt werden durfte.



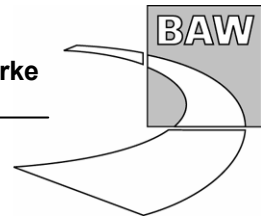
Ursprungsberechnung —

**Bild 3:** Erddruckansatz in der Ursprungsberechnung und nach neueren Ermittlungen. Im maßgebenden Lastfall Unterwasser besteht kein signifikanter Unterschied.



**Bild 4:** Belastungsschema in der Ursprungsberechnung

Wenn im konkreten Fall einer Beanspruchung durch Moment und Normalkraft die Querschnittsform so gewählt wird, dass fast keine Bewehrung erforderlich ist, so entsteht auch fast kein Sicherheitsabstand gegenüber Abweichungen vom getroffenen Lastansatz (die Betonfestigkeit spielt praktisch keine Rolle). Während bei Stampfbeton und Mauerwerk das Klaffen in einer Fuge weiter als bis zum Scherpunkt untersagt war – dies führt immerhin zu einer knapp 1,5-fachen Sicherheit gegen Kippen – stellte dies bei Stahlbetonkonstruktionen kein Kriterium dar. Die Resultierende der M-N-Kombination kann beliebig dicht an den Quer-



schnittrand heranrücken; solange die Betonfestigkeit nicht kritisch wurde, lieferte die Bemessungsprozedur eine erforderliche Bewehrung von Null. Für die Kammerwand wurde zwar eine sehr geringe erforderliche Bewehrung errechnet, die erreichte Sicherheit gegenüber kippenden Momenten ist aber entsprechend sehr gering.

Die große Empfindlichkeit früherer Konstruktionen gegenüber Schwankungen der Lastansätze ist daher eine Konsequenz des Konzepts der damaligen Bemessungsvorschriften. Mit der 1972 eingeführten Neufassung der DIN 1045 wurde dieser Mangel nicht grundsätzlich abgeschafft. Durch das damals vorgeschriebene globale Beaufschlagen einer M-N-Schnittgrößenkombination mit einem Sicherheitsfaktor – auch wenn die Normalkraft günstig wirkt und die Einwirkungen M und N unabhängig voneinander sind – entstand bei unreflektierter Anwendung weiterhin derselbe Fehler. Erst die Einführung des Sicherheitskonzepts mit geteilten Sicherheitsfaktoren behebt diesen Mangel.

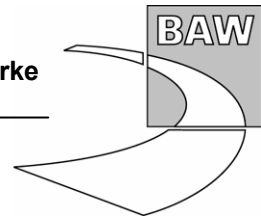
## **5 Instandsetzungskonzept**

Die Instandsetzung muss bei laufendem Schleusenbetrieb erfolgen. Das von der BAW vorgelegte Konzept zur Sanierung der Kammerwand sah die Herstellung einer erdseitigen Verstärkung vor, die monolithisch an den Bestand angeschlossen und in Längsrichtung fugenlos hergestellt wird. Diese Verstärkung sollte einen Nachweis der Kammerwand nach dem geltenden Sicherheitskonzept ermöglichen. Da im Anschlussbereich zur Sohle dennoch Schwachstellen verbleiben, sollte die Wand auch bei Ausfall des Anschlusses zur Sohle standsicher sein. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit von Gründungspfählen, die im Grenzfall auch als Zugpfähle wirken. Diese wirken sich zusätzlich günstig auf das Setzungsverhalten aus und mindern die durch Setzungen hervorgerufenen Zwängungen im Bestandsbauwerk.

### **Baugrube**

Zur Herstellung der Verstärkung muss eine Baugrube bis auf Höhe der Sohle geschaffen werden. Die Kammerwand verliert bei der Freilegung an Tragfähigkeit gegen Erddruck, da die günstige Wirkung der Überdrückung durch Erdauflast wegfällt. Die Baugrubenwand muss daher durch Rückverankerungen in sich standsicher hergestellt werden. Die Kammerwand kann sich bei Oberwasser über Steifen an die Baugrubenwand anlehnen. Dazu müssen jedoch Baugrubenumschließung und Steifenkonstruktion möglichst steif ausgebildet werden, um eine Überbeanspruchung der Kammerwand zu verhindern. Es wurde eine Bohrpfahlwand mit 1,2 m Durchmesser und 2 m Pfahlabstand gewählt. Der Steifenabstand beträgt in den oberen Lagen 4 m und in den unteren 2 m. Zur Erhöhung der Steifigkeit wurde in den oberen Lagen eine Gurtung aus Stahlbeton vorgesehen.

Wegen der sich laufend verändernden Verhältnisse (fortschreitender Aushub, Anspannen von Ankern) ist es notwendig die Steifenlagen, ggf. auch einzelne Steifen, individuell mit Kraft beaufschlagen zu können. Deshalb wurden alle Steifen mit Pressen ausgestattet, die sich im Normalzustand auf Stellringe absetzen. Zur baustellengerechten Kontrolle der eingetragenen Kräfte ist jede Steife mit einer Druckmessdose und optischer Anzeige ausgestattet.



## **Nachweis der Kammerwand im Bauzustand**

Die Kammerwand durchläuft während des Baugrubenaushubs verschiedene Phasen in denen ihre Integrität nachgewiesen werden muss. Von einem Standsicherheitsnachweis im eigentlichen Sinne kann man nicht sprechen, denn die Standsicherheit ist in jedem Fall gewährleistet: Der Erddruck wird die Wand nicht in die Kammer drücken können, sobald eine in sich standsichere, rückverankerte Baugrubenwand errichtet ist. Der Wasserdruck kann die Wand nicht zur Landseite kippen, wenn Steifenlagen sie gegen die Baugrubenwand stützen. Es handelt sich daher eher um Gebrauchsfähigkeitsnachweise, mit denen das Auftreten schädlicher Risse ausgeschlossen werden muss. Ein Rissbegrenzungsnachweis im heutigen Sinne ist aber auf keinen Fall möglich, da die Bewehrung zur Rissverteilung viel zu schwach ist.

Als Kriterium wurde vereinbart, dass die mit Sicherheitskoeffizienten für die vorübergehende Bemessungssituation ermittelten Schnittgrößen durch die vorhandene Bewehrung aufgenommen werden können. Die Bewehrung wird dabei als ungeschädigt unterstellt.

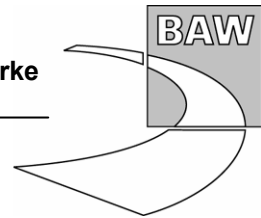
## **Biegebemessung**

Bei der Durcharbeitung der verschiedenen Bauzustände zeigte sich, dass die Bemessung bei Unterwasser zunächst am kritischsten ist. Diese Situation entspannt sich mit fortschreitendem Aushub. Nach etwa 8 m Aushub wird der Lastfall Oberwasser maßgebend. Die Größe der Momente hängt entscheidend von den Steifigkeitseigenschaften des Bodens hinter der Bohrpfehlwand ab. Mit den im Bodengutachten der BAW genannten Bodenparametern und den durch das Programm PLAXIS ermittelten Bodenreaktionen ließen sich die zugelassenen Schnittkräfte in der Kammerwand mit den zunächst vorgesehenen vier Steifenlagen nicht einhalten.

Eine denkbare Lösung wäre gewesen, die Steifen künstlich mit einer zum jeweiligen Wasserdruck affin ansteigenden Last zu beaufschlagen. Damit wäre man weitgehend unabhängig von den Steifigkeitsverhältnissen im Boden geworden. Die Schnittkräfte hätten sich gezielt im zulässigen Bereich halten lassen. Allerdings hätten die Pressen während der Füll- und Entleerungsvorgänge auf dem Öl und nicht auf den Stellringen gestanden. Dieses und die notwendigen Steuerungsprogramme wurden für zu anfällig und nicht baustellengerecht angesehen.

Die Einführung einer fünften Steifenlage brachte hier Abhilfe, da die Vorbauabschnitte bis zum Erreichen der Sohle für den Einbau der nächsten Steifenlage kleiner werden. Allerdings musste auch hierbei eine Vorspannung der Steifen vorgesehen werden. Diese erfolgte aus Gründen der Praktikabilität – aber auch aus statischen – bei Unterwasser. Dazu werden zunächst alle Steifen entspannt. Dann wird jeweils nur die unterste Lage vorgespannt und danach alle übrigen kraftschlüssig angefahren. Wollte man auch die oberen Steifenlagen vorspannen, würde der Vorspannvorgang wegen der Interaktion der Lagen sehr komplex.

Die mögliche Vorspannkraft ist stark begrenzt, da die Momententragfähigkeit der Kammerwand wegen der wegfallenden Überdrückung durch Erdauflast geringer wird. Da die Querkrafttragfähigkeit der Längskanalwände kritisch wird, ist die Vorspannung der jeweils untersten Lage besonders geeignet; sie hilft maximal beim Abtrag der Querkraft und bringt das geringste Moment im Lastfall Unterwasser.



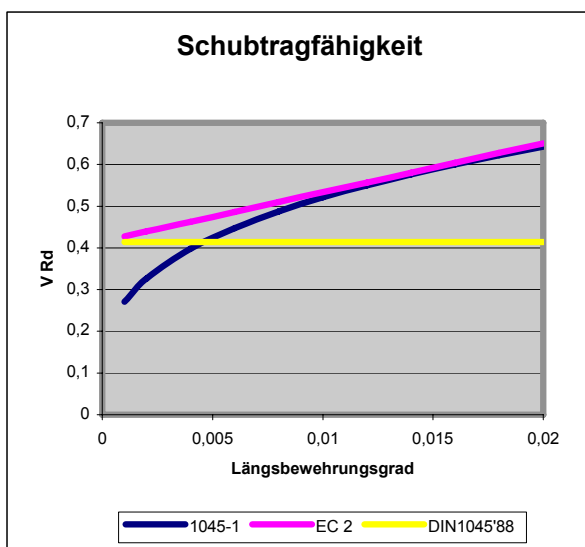
Der Pfad zwischen möglicher Steifenvorspannung bei Unterwasser und erforderlicher stützender Steifenkraft bei Oberwasser ist sehr eng. Bei linearelastischer Schnittgrößenermittlung war bei den vorgegebenen Bodenparametern die Einhaltung des gesetzten Kriteriums nicht möglich. Da das System um den Längskanal statisch unbestimmt ist, konnte durch Berücksichtigung der Nichtlinearitäten infolge Rissbildung eine Umlagerung erreicht werden, die einen Nachweis der Biegetragfähigkeit möglich machte. Dies allerdings erst dann, als auch das Anwachsen der Steifenkräfte infolge der durch Rissbildung weicher werdenden Betonkonstruktion berücksichtigt wurde.

Grundsätzlich war die Frage zu klären, wie nach dem neuen Sicherheitskonzept die Wirkung der Steifenkräfte einzuordnen ist. Handelt es sich um Widerstände, die reduziert werden müssen? Sind sie günstig wirkende Einwirkungen, die nur mit einfachem Wert angesetzt werden dürfen? Oder sind es Reaktionen federnder Lager, die anzusetzen sind, wie sie sich unter der  $\gamma$ -fachen Last des Wassers ergeben? Nur mit letzterer Definition gelang der Nachweis der Biegebewehrung.

### Querkraftbemessung

Als kritischster Schnitt erweist sich das untere Ende des erdseitigen Stiels neben dem Längskanal. Schon vor Beginn der Ertüchtigungsarbeiten errechnet sich hier eine Schubspannung, die deutlich über den nach DIN 1045 Ausgabe 1972 zulässigen Werten liegt, wenn man die Ergebnisse der PLAXIS-Rechnungen zur Grundlage macht. In den Bauzuständen wird dieselbe Größenordnung erreicht, jedoch mit umgekehrtem Vorzeichen.

Nach der zur Bauzeit geltenden Vorschrift musste ein Nachweis der Schubbewehrung erst bei sehr viel höheren Schubspannungen geführt werden. Allerdings wurde in den konstruktiven Grundsätzen gefordert, dass jedes zur Momentendeckung nicht mehr erforderliche Eisen abgebogen und in der Druckzone verankert wurde, so dass immer eine Schubbewehrung vorausgesetzt werden konnte.



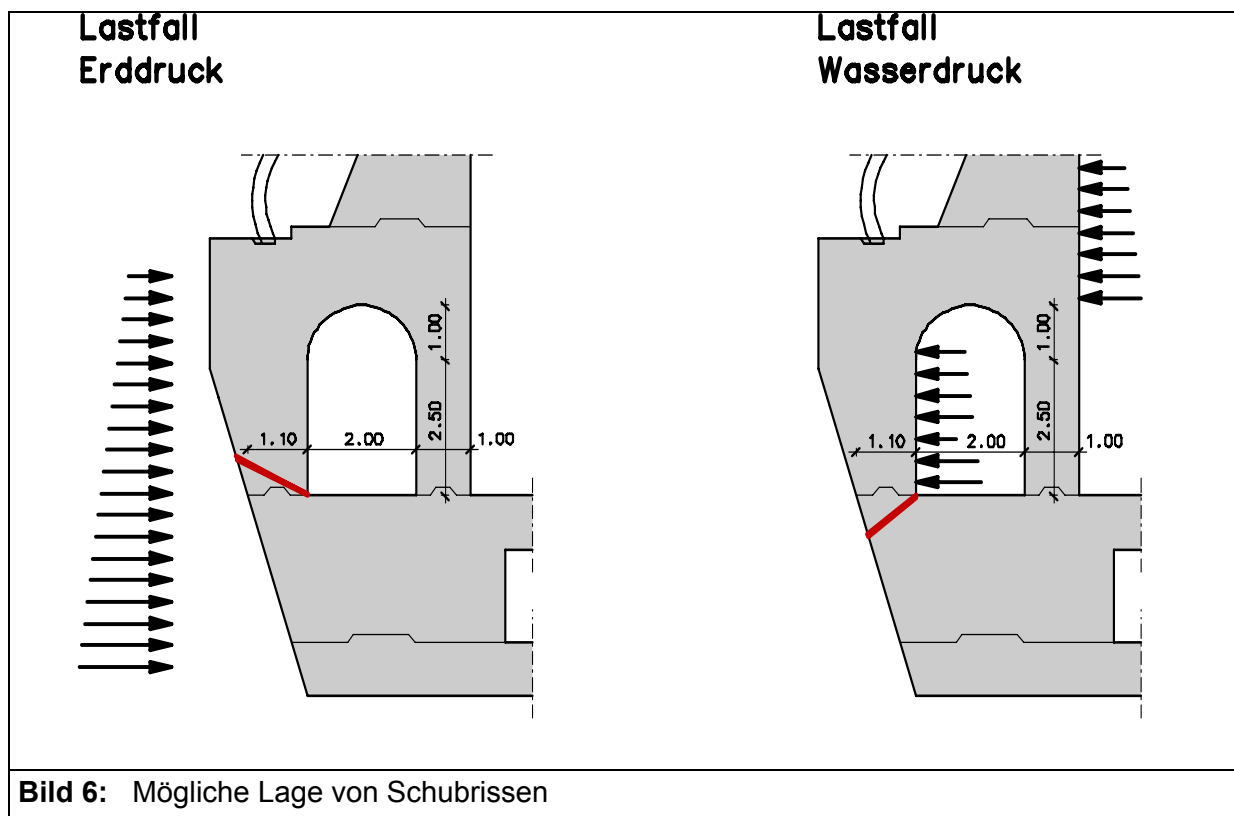
**Bild 5:** Vergleich der Schubtragfähigkeit

Die im Istzustand und in den Bauzuständen auftretenden Querkräfte liegen weit jenseits dessen, was gemäß heutiger DIN 1045-1 ohne Querkraftbewehrung aufnehmbar wäre. In der einschlägigen Formel geht nämlich die Längsbewehrung entscheidend ein. Für die hier vorliegenden extrem schwach bewehrten Querschnitte nähert sich dabei die Querkrafttragfähigkeit Null. Dies zeigt aber nur, dass diese halbempirische Formel für das anstehende Problem nicht passend, weil für andere Randbedingungen hergeleitet ist. Ein Vergleich der Querkrafttragfähigkeit nach verschiedenen Normen, die in Deutschland Geltung haben oder hatten, macht dies deutlich.

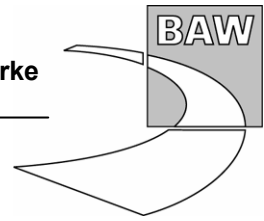
Bei ingenieurmäßiger Betrachtung ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Gefährdungssituation des derzeitigen Zustands im Vergleich zu kritischen Aushubzuständen eine grundlegend andere ist:

Die hohen Schubspannungen werden im Lastfall Unterwasser durch die Erddrücke hervorgerufen. Im fraglichen Bereich wurde die Schleuse gegen den Sandstein betoniert. Wenn der Sandstein infolge der Erdüberlagerung einen so großen Druck gegen die Schleusenwand aufbaut, dass die Wand nachgibt, treten im Sandstein Umlagerungen auf und ein Gleichgewichtszustand bleibt möglich. Bei der Bauausführung wird mit fortschreitendem Aushub zunehmend der Lastfall Oberwasser kritischer. Im Grenzfall bei völliger Freilegung der Wand muss sie allein dem Wasserdruck standhalten. Hier kann auf keinerlei Entlastung durch Umlagerung gehofft werden. Zudem zeigt ein Blick auf die Geometrie der Wand, dass die Lage eines möglichen Schubrisses unter Lastfall Wasserdruck viel ungünstiger ist als beim Lastfall Erddruck.

Während beim Lastfall Erddruck der Stiel eine direkte Lagerung findet, drückt das Wasser den Stiel ins Leere bzw. die Kraft muss in die Bodenplatte zurückgehängt werden. Als Rückverhängung steht nur die obere Bewehrung zur Verfügung, und zwar nur sehr unvollkommen, da sie in Form von schwimmenden geraden Eisen ohne Endhaken verlegt wurde. Da diese Situation in keiner Weise vertretbar ist, wird eine Rückhängung durch eingebohrte Eisen vorgesehen. Um diese einbringen zu können muss allerdings die Wand im kritischen Bereich weitgehend freigelegt werden. Das Arbeiten in dieser Situation wird nur im Zustand Unterwasser für vertretbar gehalten, was die Ausführung in kleinen Schritten in nächtlichen Sperrpausen zur Folge hat. Zusätzlich wird noch in halber Höhe des erdseitigen Stiels eine vorgespannte Hilfssteife eingeführt. Durch sie wird die Querkraftbeanspruchung unter die nach DIN 1045 (1988) zulässige Grenze gebracht.

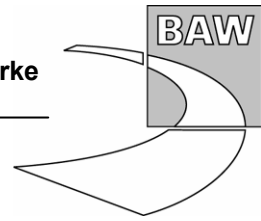


**Bild 6:** Mögliche Lage von Schubrissen



### **Verstärkungs konstruktion**

Die Geometrie der Verstärkungs konstruktion ergab sich im wesentlichen nach konstruktiven Gesichtspunkten. Der angegliederte Drainagekanal bestimmte die Stärke im unteren Bereich, während im oberen Bereich eine Mindeststärke erforderlich war, um ein Durchschlagen der vorhandenen Fugen in die neue monolithische Konstruktion zu verhindern.



Dipl.-Ing. A. Westendarp, Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe  
**Instandsetzungsgrundsätze für Wasserbauwerke aus Beton**

## **1. Allgemeines**

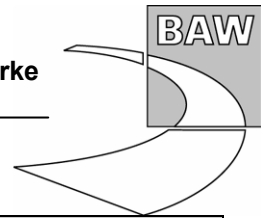
Instandsetzungsmaßnahmen an Wasserbauwerken unterscheiden sich zum Teil deutlich von solchen im Brücken- oder im sonstigen Hoch- und Ingenieurbau. Ursächlich hierfür sind vor allem wasserbauspezifische Beanspruchungen wie temporäre oder dauernde Wasserbeaufschlagung, Geschiebetransport, Schiffsanfahrt oder betriebsbedingt hohe Anzahlen von Frost-Tau-Wechseln, aber auch besondere Randbedingungen wie oftmals äußerst geringe Altbetonfestigkeiten. Hieraus resultieren spezifische Instandsetzungsansätze, die in wasserbaueigenen Regelwerken dargestellt werden.

## **2. Regelwerksituation in der Betoninstandsetzung**

Regelwerkbasis für die Betoninstandsetzung sind in Deutschland die Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (RL SIB) /1/ und die ATV DIN 18349 "Betonerhaltungsarbeiten" in der VOB/C /2/. Beide Regelwerke gehen in ihrem Anwendungsbereich von einer Gültigkeit für den Gesamtbereich der Betoninstandsetzung aus. Tatsächlich ist die RL SIB aber ein Regelwerk, welches speziell auf den üblichen Hoch- und Ingenieurbau und den Brückenbau ausgerichtet ist. Andere Baubereiche und die dort gegebenen Randbedingungen werden nur unzureichend oder gar nicht berücksichtigt. Exemplarisch genannt sei hier der Umstand, dass die RL SIB nur Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen an Betonuntergründen regelt, die eine Abreißfestigkeit von mindestens 1,5 N/mm<sup>2</sup> aufweisen. Bauteile mit geringeren Altbetonqualitäten, die ja gerade oftmals einer Instandsetzung bedürfen, werden von der RL SIB also gar nicht erfasst.

Diese Spezialisierung der RL SIB auf bestimmte Anwendungsbereiche hat in den letzten etwa 15 Jahren zur Schaffung weitestgehend eigenständiger wasserbauspezifischer Regelungen für die Betoninstandsetzung geführt. Als wesentliche Regelwerke sind hier die ZTV-W LB 219 /7/, der zugehörige Standardleistungskatalog /16/ sowie diverse BAW-Merkblätter (/8/, /9/, 10/) zu nennen. Eine analoge Vorgehensweise wie im Neubau, wo die ZTV-W LB 215 /6/ auf der europäischen Betonnorm EN 206-1 /3/ und den nationalen Normen (u.a. DIN 1045, Teile 1 bis 4 /4/) aufbaut und diese im Bedarfsfall ergänzt, war und ist in der Betoninstandsetzung bedauerlicherweise nicht möglich. In der ZTV-W LB 219 /7/ wird lediglich auf ausgewählte Bereiche der RL SIB wie Planungsgrundsätze oder Qualitätssicherungssysteme für Baustoffe und Bauausführung verwiesen, die auch für den Wasserbau nutzbar sind. Die aktuelle Regelwerksituation ist in Tabelle 1 dargestellt.





Regelwerke Betoninstandsetzung		
National	DAfStb-RL "Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen", Teile 1 bis 4 (RL SIB)	
	ATV DIN 18349 "Betonerhaltungsarbeiten"	
Wasserbau-spezifisch	ZTV-W LB 219	BAW-Merkblatt "Frostprüfung"
		BAW-Merkblatt "Chlorideindringwiderstand"
		BAW-Merkblatt "Spritzmörtel"
	STLK LB 219	
Sonstige	ZTV-ING, Teil 3, Abschnitt 4 "Füllen von Rissen"	
	DWA-Merkblatt "Injektionen"	

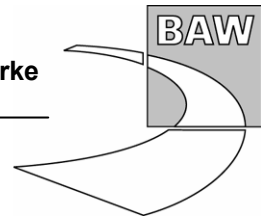
**Tabelle 1:** Regelwerksituation in der Betoninstandsetzung (national)

### 3. Chronologie der Betoninstandsetzung

Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen an Betonbauteilen umfassen im Regelfall folgende, aufeinander aufbauende Schritte:

1. Bauwerksbegutachtung, Instandsetzungsbedarf
2. Instandsetzungskonzept, Instandsetzungsplan
3. Ausschreibung, Vergabe
4. Ausführung

In der Praxis ist auch fast 20 Jahre nach Erscheinen der ersten übergreifenden Instandsetzungsregelwerke in Deutschland (1987: ZTV-SIB, 1988: ZTV-RISS, 1990: RL SIB) leider zu beobachten, dass die o.g. Schritte 1 und 2 oftmals nicht oder nur unzureichend realisiert werden. Die Ermittlung des Ist-Zustandes des instand zu setzenden Bauwerks bzw. Bauteils, die Ermittlung der Schadensursachen, die Gegenüberstellung von Ist- und Sollzustand, die Formulierung der Instandsetzungsziele, die Festlegung der durchzuführenden Maßnahmen unter Beachtung der Grundsätze für Schutz und Instandsetzung des Betons und für den Korrosionsschutz der Bewehrung gemäß RL SIB, Teil 1, oder die Beurteilung der statischen Situation der voraussichtlichen Bauzustände sind einige der Aspekte, die unter Punkt 1 und 2 zu beachten und zu bearbeiten sind und letztendlich im Instandsetzungsplan gebündelt werden.



Die Erstellung eines solchen Instandsetzungsplans für jede Schutz- und Instandsetzungsmaßnahme an Betonbauteilen wird explizit in der RL SIB, Teil 1, in der ATV DIN 18349 und auch in der ZTV-W LB 219 gefordert. Gemäß ZTV-W LB 219 ist der Instandsetzungsplan sogar der Ausschreibung für derartige Maßnahmen beizufügen. Ein Verzicht auf die Erstellung des Instandsetzungsplans ist somit nicht nur unter technischen Aspekten inakzeptabel, sondern auch unter bauvertraglichen Gesichtspunkten kritisch (Ansatz für Bedenkenanmeldung und Nachtragsforderungen des Auftragnehmers).

#### **4. Aspekte bei der Instandsetzung von Wasserbauwerken**

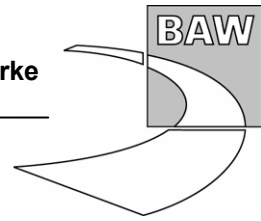
Für Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen an Betonbauteilen von Wasserbauwerken unter Verwendung zementgebundener Instandsetzungssysteme gelten prinzipiell die gleichen Zusammenhänge wie bei Betonbauteilen im üblichen Hoch- und Ingenieurbau. Aufgrund der eingangs bereits genannten, besonderen wasserbauspezifischen Randbedingungen (geringe Altbetonqualitäten, besondere Beanspruchungen, besondere bauphysikalische Situationen) sind darüber hinaus weitere Aspekte zu berücksichtigen. Die wesentlichen Gesichtspunkte werden nachfolgend dargestellt:

a) Dauerhaftigkeit des Instandsetzungssystems unter den einwirkenden Beanspruchungen  
Während in der RL SIB die Einwirkungen auf das instand zu setzende bzw. das instand gesetzte Bauteil nur indirekt bzw. gar nicht (z.B. chemischer Angriff) berücksichtigt werden, hat die ZTV-W LB 219 das Prinzip der Expositionsklassen aus dem Neubaubereich (DIN EN 206-1, DIN 1045) adaptiert und um zwei weitere, nur für die Instandsetzung relevante Klassen erweitert (Wasserbeaufschlagung durch Süß- oder Meerwasser, Rückseitige Durchfeuchtung; siehe ZTV-W LB 219, Tabelle 0.1). Für Instandsetzungsmaßnahmen mittels Beton nach DIN 1045 bzw. Spritzbeton nach DIN 18551 /5/ gelten gemäß ZTV-W LB 219 analoge Anforderungen an Zusammensetzung und Dauerhaftigkeit der Materialien wie in den zugrunde liegenden Normen, ergänzt durch Performance-Prüfungen bei bestimmten Expositionen (Frostwiderstand bei Expositionsklassen XF3 bzw. XF4 /10/; Chlorideindringwiderstand bei XD bzw. XS (9)). Für unverankert und unbewehrt ausgeführte Spritzbetone und Spritzmörtel gelten die ebenfalls expositionsklassenabhängigen Anforderungen gemäß BAW-Merkblatt "Spritzmörtel" /8/.

#### **b) Verbund zwischen Instandsetzungssystem und Altbeton**

Die in der Verbundebene zwischen Altbeton und Instandsetzungssystem auftretenden Spannungen sind durch Adhäsion und/oder Verbundmittel (Anker) aufzunehmen. Ursächlich für solche Spannungen können u. a. sein:

- Eigengewicht des Instandsetzungssystems
- Spaltwasserdruck (siehe ZTV-W LB 219 (164) und (324))
- Schwinden und hygrische Verformungen des Instandsetzungssystems
- Unterschiedliches Verformungsverhalten von Instandsetzungssystem und Altbeton (Temperaturdehnung, E-Modul)

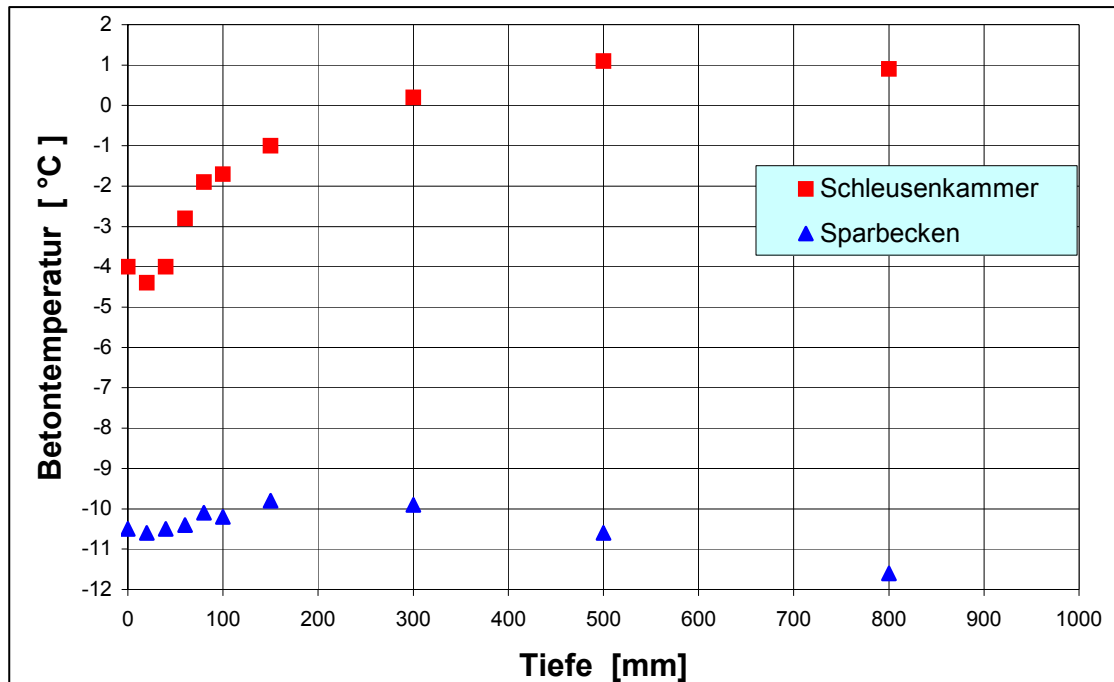


c) Rissbreitenänderungen im Altbeton

Gerade ältere, unbewehrt ausgeführte Wasserbauwerke weisen Risse bzw. gerissene Arbeitsfugen auf, deren Breite insbesondere aufgrund sich ändernder Bauteiltemperaturen variieren kann. Diese Rissbreitenänderungen können von "starren" zementgebundenen Systemen nicht aufgenommen werden. Bei Instandsetzungsmaßnahmen muss deshalb entweder ein "Fortpflanzen" derartiger Risse in das Instandsetzungssystem hinein akzeptiert oder aber die Risse durch entsprechende Bewehrung innerhalb des Instandsetzungssystems "überbrückt" und/oder feiner verteilt werden.

d) Änderung des Sättigungsgrades im Altbeton

Der Frostangriff auf mineralisch gebundene Systeme ist neben der Anzahl und der Intensität der Frost-Tau-Wechsel vor allem abhängig vom Sättigungsgrad der Poren. Dieser Sättigungsgrad kann bei heute üblichen Betonen bei Anwesenheit von Wasser im Bereich der Bauteiloberfläche insbesondere durch "Pumpeffekte" infolge Frost-Tau-Wechseln (Mikroeilinsenmodell nach Setzer) signifikant erhöht werden. Bei geringer festen Altbetonen, wie sie bei älteren Schleusenkammerwänden oder Wehrpfeilern anzutreffen sind, scheint hingegen ein kritischer Sättigungsgrad innerhalb der vergleichsweise "offenen" Porenstruktur während der Nutzungsphase oftmals nicht erreicht zu werden. Wird diese Situation durch Applikation eines zumeist wasserdampfdichten Instandsetzungssystems verändert, kann es hinter der Instandsetzungsschicht im Altbeton zu höheren Wassersättigungsgraden als zuvor und, in Verbindung mit entsprechender Temperaturbeanspruchung, zu Gefügestörungen und Ablösungen kommen. Ein Lösungsansatz für diese Problematik ist die Vermeidung frostkritischer Temperaturgradienten im Altbeton durch Wahl entsprechend großer Schichtdicken für das Instandsetzungssystem. Untersuchungen der BAW zur Temperaturbeanspruchung von Betonbauteilen zeigen die deutliche Abhängigkeit von der jeweiligen Bauteilsituation. Exemplarisch sind in Bild 1 die während vierjähriger Bauwerksmessungen gefundenen, absoluten Minimaltemperaturen innerhalb einer erdhinterfüllten Schleusenkammerwand und einer freistehenden, etwa 1 m breiten Sparbeckenwand der gleichen Schleusanlage dargestellt. Derzeit wird im Rahmen von F+E-Vorhaben über Bauwerksmessungen versucht, auch die Größe und Änderung der Feuchteverteilung in der Bauteilrandzone von Wasserbauwerken infolge betriebsbedingter und klimatischer Änderungen der Randbedingungen (beispielsweise durch Schleusungsvorgänge) zu erfassen.



**Bild 1:** Absolute Minimaltemperaturen im Beton innerhalb von 4 Jahren  
(wasserbeaufschlagte Bauteiloberfläche bei Tiefe 0 mm)

## 5. Umsetzung in Instandsetzungsprinzipien

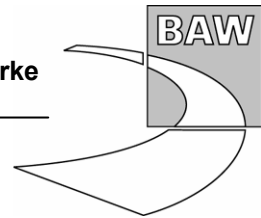
Ein wesentlicher Ansatz der aktuellen ZTV-W LB 219 (2004) ist die Definition von Altbetonklassen in Abhängigkeit von Druckfestigkeit und Abreißfestigkeit des Altbetons. Die entsprechenden Klassen und Zuordnungskriterien sind in Tabelle 2 dargestellt.

1	2	3	4
Altbetonklasse	Druckfestigkeit <sup>1)</sup>	Abreißfestigkeit <sup>2)</sup>	
		Mittelwert	Kleinster Einzelwert
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
A1	≤ 10	---	---
A2	> 10	≥ 0,8	≥ 0,5
A3	> 20	≥ 1,2	≥ 0,8
A4	> 30	≥ 1,5	≥ 1,0

<sup>1)</sup> Mittelwert der Druckfestigkeit (Bestimmung nach DIN EN 12504-1)  
<sup>2)</sup> Kleinster Einzelwert / Mittelwert (Bestimmung nach DIN EN 1542)

**Tabelle 2:** Kriterien für die Einordnung des Altbetons im Bereich der Instandsetzungsebene  
(ZTV-W LB 219, Tabelle 0.2)

In der ZTV-W LB 219 werden in den Abschnitten 3 bis 7 Instandsetzungsmöglichkeiten unter Verwendung unterschiedlichen Baustoffe aufgezeigt. Die Spanne reicht hier vom Beton über den bewehrten und den unbewehrten Spritzmörtel/Spritzbeton bis hin zu Oberflächenschutz-



systemen. Anwender der ZTV-W LB 219 (1997) waren verschiedentlich der Ansicht, dass jedes Betonersatz- oder Oberflächenschutzsystem, welches den Anforderungen der ZTV entspricht, auch für die Anwendung an jedem Bauteil geeignet ist. Dabei wurde übersehen, dass die ZTV lediglich sicherstellt, dass die Systeme an sich unter wasserbauspezifischen Beanspruchungen hinreichend dauerhaft sind. Über die Eignung für einen ganz konkreten Anwendungsfall in der jeweiligen Verbundsituation mit dem Bauteil war und ist stets durch den sachkundigen Planer unter Berücksichtigung der o. g. Aspekte zu entscheiden. Die ZTV-W LB 219 (2004) gibt hier in Abschnitt 0 entsprechende Hinweise (siehe Tabelle 3 bzw. ZTV-W LB 219 (2004), Tabelle 0.3).

1	2	3	4	5	6
Alt- beton- klasse	Beton (Abschnitt 3)	Spritzbeton (Abschnitt 4)	Spritzmörtel / Spritzbeton (Abschnitt 5)	PCC (Abschnitt 6)	OS (Abschnitt 7)
	$d \geq 90 \text{ mm}^{1)}$	$d \geq 90 \text{ mm}^{1)}$	$20 \leq d \leq 60 \text{ mm}$	$10 \leq d \leq 50 \text{ mm}$	
	Verankert, bewehrt		Unverankert, unbewehrt		
A1	X	X <sup>2)</sup>	---	---	---
A2	X	X	S-A2 <sup>3)</sup>	---	---
A3	X	X	S-A3 <sup>3)</sup>	---	X <sup>4)</sup>
A4	X	X	S-A4 <sup>3)</sup>	X	X

1) Für Vorsatzschalen für Schleusenammerwände und vergleichbare Bauteile siehe ZTV-W LB 219, Abschnitte 3.3.2 bzw. 4.3.2

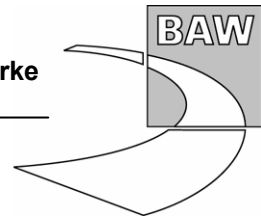
2) Nur bei  $d \geq 150 \text{ mm}$

3) Spritzmörtel/Spritzbetone gemäß ZTV-W LB 219, Abschnitt 5, die hinsichtlich ihres Festigkeits- und Verformungsverhaltens den entsprechenden Altbetonen angepasst sind. Insbesondere bei den Altbetonklassen A2 und A3 ist darüber hinaus bei der Planung von Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen das mögliche Auftreten erhöhter Wassersättigungsgrade im Altbeton hinter dem Schutz- und Instandsetzungssystem zu berücksichtigen.

4) Nur für Betonuntergründe, bei denen der Mittelwert der Abreißfestigkeit mindestens  $1,3 \text{ N/mm}^2$  beträgt.

**Tabelle 3:** Zulässige Schutz- und Instandsetzungssysteme bzw. Instandsetzungsverfahren gemäß ZTV-W LB 219 bei flächigem Auftrag (ZTV-W LB 219, Tabelle 0.3)

Deutlich wird, dass bei sehr geringen Altbetonqualitäten (Altbetonklasse A1) ausschließlich bewehrte und verankerte Systeme aus Beton oder Spritzbeton in Frage kommen. Bei derartigen Instandsetzungsmaßnahmen geht man davon aus, dass diese verankerten und bewehrten Schichten alle über die Bauteiloberfläche bzw. den Altbetonuntergrund einwirkende Beanspruchungen aufnehmen können. Eine Kraftübertragung über Adhäsionsverbund wird

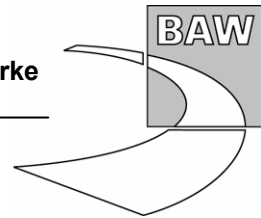


rechnerisch nicht berücksichtigt. Für Vorsatzschalen aus Beton oder Spritzbeton bei Schleusen- und Kammerwänden und vergleichbaren Bauteilen enthält die ZTV-W LB 219 besondere Regelungen.

Am anderen Ende des Altbetonspektrums stehen mit der Altbetonklasse A4 Betone bzw. Bauteile, die in den Anwendungsbereich der RL SIB fallen (Abreißfestigkeit  $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$ ). Hier können am Markt verfügbare und bewährte Materialien wie beispielsweise Spritzmörtel M2 (SPCC) gemäß RL SIB eingesetzt werden, sofern deren Dauerhaftigkeit bei temporärer oder dauernder Wasserbeaufschlagung durch eine entsprechende Zusatzprüfung gemäß ZTV-W LB 219 nachgewiesen worden ist. Derartige Instandsetzungen werden unverankert und unbewehrt in Schichtdicken von bis zu 60 mm ausgeführt, die Übertragung der zwischen Instandsetzungssystem und Altbeton auftretenden Kräfte erfolgt ausschließlich über Adhäsion. Der Anwender findet geeignete Systeme inklusive Hinweisen zu Verwendungsbeschränkungen für bestimmte Expositionsklassen in entsprechenden Zusammenstellungen für den Wasserbau, die bei der BAW geführt werden (siehe [www.baw.de](http://www.baw.de)).

Für die Instandsetzung geringer fester Untergründe (Abreißfestigkeiten  $< 1,5 \text{ N/mm}^2$ ) mit dünn-schichtigen Systemen (bis etwa 60 mm) standen bislang am Markt keine geeigneten Systeme zur Verfügung. Mit der neuen ZTV-W LB 219 und dem BAW-Merkblatt "Spritzmörtel" wurde nun erstmals versucht, Randbedingungen für derartige Instandsetzungssysteme zu definieren. Praxisbeobachtungen zeigen, dass sich bei geringer festen Untergründen insbesondere Systeme mit geringem Schwindmaß bewährt haben. Durch ein geringes Schwindmaß wird die Beanspruchung des Verbundes anscheinend signifikant verringert und das Auftreten von Rissen im Instandsetzungssystem erheblich reduziert. Bei der Erstellung der ZTV-W LB 219 wurde zunächst der Ansatz verfolgt, dünn-schichtigen Systeme für geringer feste Altbetonuntergründe zumindest "konstruktiv" zu bewehren, um bei derartigen Altbetonsituationen nie auszuschließende Bereiche mit geringeren Festigkeiten auf diese Weise "überbrücken" zu können. Da der dauerhafte Korrosionsschutz einer solchen Bewehrung über das alkalische Milieu angesichts der geringen Betondeckungen aber nicht in jedem Fall sichergestellt werden kann, hat man auf entsprechende Regelungen in der ZTV verzichtet. Derzeit wird im Rahmen einer Potentialanalyse die Eignung korrosionsunkritischer "Bewehrungslösungen" für diese Anwendungsfälle hinterfragt. Ein besonderes Augenmerk wird hierbei auf Lösungen unter Verwendung von Textilbewehrung gelegt.

Oberflächenschutzsysteme werden an Wasserbauwerken nur in Ausnahmefällen eingesetzt. Typische Anwendungsgebiete im Binnenbereich sind nicht dauernd oder temporär mit Süß- oder Meerwasser beaufschlagte, also lediglich frei bewitterte Flächen (z.B. Wehrpfeiler oberhalb des Hochwasserstands) ohne Feuchtigkeitszutritt von hinten. Im Küstenbereich finden Oberflächenschutzsysteme an frei bewitterten Flächen ohne mechanische Beanspruchung durch Schiffsanfahrt etc. als Schutz vor dem weiteren Eindringen von Chloriden Verwendung.



Gemäß ZTV-W LB 219 ist der Korrosionsschutz der Bewehrung unabhängig von der Untergrundqualität im Regelfall durch Realisierung des Instandsetzungsprinzips R gemäß RL SIB (Korrosionsschutz durch Wiederherstellung des alkalischen Milieus) sicher zu stellen.

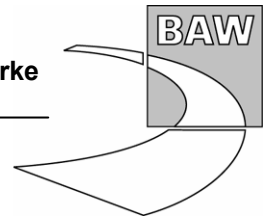
## 6 Europäische Normung

Für die Instandsetzung von Betonbauteilen wird derzeit auf europäischer Ebene die Normenreihe EN 1504 /11/ erarbeitet. Bei den Teilen 2 bis 6 dieser zehnteiligen Normenreihe handelt es sich um harmonisierte Produktnormen.

EN 1504	Titel
Teil 1	Allgemeines und Begriffe
Teil 2	Oberflächenschutzsysteme
Teil 3	Statisch und nicht statisch relevante Instandsetzung
Teil 4	Kleben
Teil 5	Injektion in Betonbauteile
Teil 6	Mörtel zur Verankerung zusätzlicher Bewehrung oder um äußere Fehlstellen zu füllen
Teil 7	Korrosionsschutz der Bewehrung
Teil 8	Qualitätskontrolle und Konformitätsbewertung
Teil 9	Allgemeine Grundsätze für den Einsatz von Produkten und Systemen
Teil 10	Anwendung der Produkte u. Systeme auf der Baustelle u. Qualitätskontr. d. ausgef. Arbeiten

**Tabelle 4:** EN 1504: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken

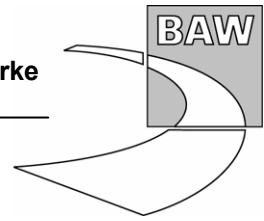
Derzeit werden im nationalen Spiegelausschuss für diese Normenreihe Restnormen erstellt, mit deren Hilfe europäische Instandsetzungsprodukte im Rahmen des in Deutschland gültigen Regelwerks für die Betoninstandsetzung angewendet werden können. Die Restnormen DIN V 18026 /12/ und DIN V 18028 /13/ für Produkte gemäß Teil 2 und Teil 5 der EN 1504 wurden bereits veröffentlicht. Die Erarbeitung der Restnorm DIN V 18027 für die Instandsetzungsmörtel gemäß EN 1504, Teil 3, stößt hingegen auf erhebliche Schwierigkeiten, weil die Unterschiede zwischen den Leistungsmerkmalen der europäischen Norm auf der einen Seite und denen der RL SIB bzw. der ZTV-ING /14/ und der ZTV-W LB 219 auf der anderen Seite doch sehr groß sind. Nach einem aktuellen Beschluss der europäischen Kommission ist das Ende der Parallelgültigkeit nationaler und europäischer Regelwerke für Betoninstandsetzungsprodukte nunmehr einheitlich auf den 31.12.2008 festgelegt worden. Nach diesem Zeitpunkt müssen entgegenstehende nationale Regelwerke zurückgezogen werden.



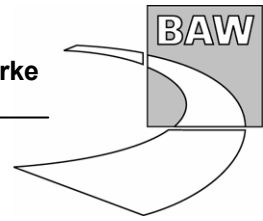
## **Literaturverzeichnis**

- /1/ RL SIB 2001  
Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb), Oktober 2001  
Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen  
Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze  
Teil 2: Bauprodukte und Anwendungen  
Teil 3: Anforderungen an die Betriebe und Überwachung der Ausführung  
Teil 4: Prüfverfahren
  
- /2/ ATV DIN 18349 Betonerhaltungsarbeiten  
VOB Teil C
  
- /3/ DIN EN 206-1 Beton – Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, Juli 2001
  
- /4/ DIN 1045 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Juli 2001  
Teil 1: Bemessung und Konstruktion  
Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität  
Teil 3: Bauausführung  
Teil 4: Fertigteile
  
- /5/ DIN 18551 Spritzbeton - Anforderungen, Herstellung, Bemessung und Konformität
  
- /6/ ZTV-W LB 215 (2004)  
Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton (LB 215)  
Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung Eisenbahnen, Wasserstraßen
  
- /7/ ZTV-W LB 219 (2004)  
Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau (ZTV-W) für Schutz und Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken (Leistungsbereich 219)  
Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung Eisenbahnen, Wasserstraßen
  
- /8/ BAW-Merkblatt "Spritzmörtel/Spritzbeton nach ZTV-W LB 219, Abschnitt 5"  
Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
  
- /9/ BAW-Merkblatt "Chlorideindringwiderstand von Beton"  
Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe





- /10/    BAW-Merkblatt "Frostprüfung von Beton"  
         Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
  
- /11/    DIN EN 1504   Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken, Teile 1 bis 10
  
- /12/    DIN V 18026   Oberflächenschutzsysteme für Beton aus Produkten nach DIN EN 1504-2:2005-01
  
- /13/    DIN V 18028   Rissfüllstoffe nach DIN EN 1504-5:2005-03 mit besonderen Eigenschaften
  
- /14/    ZTV-ING  
         Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten  
         Bundesanstalt für Straßenwesen
  
- /15/    ATV-DVWK-Merkblatt "Injektionen mit hydraulischen Bindemitteln in Wasserbauwerken aus Masseng Beton"  
         DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef
  
- /16/    Standardleistungskatalog für den Wasserbau  
         Leistungsbereich 219: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen  
         Ausgabe April 2006  
         Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung



Dipl.-Ing. C. Kubens, KUBENS Ingenieurgesellschaft mbH Nürnberg

## **Instandsetzung von Wasserbauwerken mit Spritzbeton nach neuer ZTV-W LB 219**

### **1. Betonschäden**

In Deutschland werden seit etwa 100 Jahren Wasserbauwerke, z. B. Talsperren, Wehre, Schleusen in der Betonbauweise, anfangs oft in Verbindung mit einem Natursteinmauerwerk errichtet.

Seit den 30-er Jahren des vorigen Jahrhunderts wurde der Beton auch zunehmend als direkt genutzte Betonoberfläche ausgeführt.



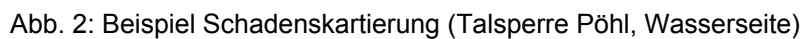
Abb. 1: Wasserseite Talsperre Bleiloch vor der Instandsetzung  
Bauzeit 1926-1932

Es zeigte sich sehr bald, daß die frei bewitterten Betonoberflächen der Wasserbauwerke insbesondere in den Wasserwechselzonen Frostschäden aufwiesen.

### **2. Bauwerksuntersuchung**

Jede Instandsetzung beginnt mit einer gründlichen Bestandsaufnahme aller instand zu setzenden Bauteile des Wasserbauwerkes.

Die Oberflächen werden kartiert, Schäden werden angesprochen und an repräsentativen Stellen werden Bohrkerne Ø 100 mm oder Ø 150 mm für die weitergehenden Laborprüfungen entnommen.

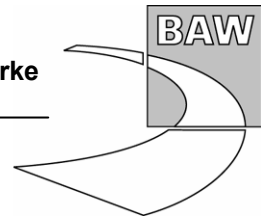


Auf der Grundlage der Bestandsaufnahme ist eine weitere Bearbeitung durch einen erfahrenen, sachkundigen Planer erforderlich. Dabei empfiehlt es sich, die wesentlichen Planungshinweise der neuen ZTV-W Schutz und Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken, LB 219, Ausgabe 2004 zu beachten.

1	2	3	4
Altbetonklasse	Druckfestigkeit <sup>1)</sup>	Abreißfestigkeit <sup>2)</sup>	
		Mittelwert	Kleinster Einzelwert
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
A1	≤ 10	---	---
A2	> 10	≥ 0,8	≥ 0,5
A3	> 20	≥ 1,2	≥ 0,8
A4	> 30	≥ 1,5	≥ 1,0

<sup>2)</sup> Kleinster Einzelwert / Mittelwert (Bestimmung nach DIN EN 1542)

Es werden zunächst nur die Druckfestigkeit und die Abreißfestigkeit betrachtet. Aus diesen beiden Prüfergebnissen werden die zulässigen Instandsetzungssysteme bei flächigem Auftrag abgeleitet nach Tab. 0.3.



1	2	3	4	5	6
Alt- beton- klasse	Beton (Abschnitt 3)	Spritzbeton (Abschnitt 4)	Spritzmörtel / Spritzbeton (Abschnitt 5)	PCC (Abschnitt 6)	OS (Abschnitt 7)
	$d \geq 90 \text{ mm}^{1)}$	$d \geq 90 \text{ mm}^{1)}$	$20 \leq d \leq 60$ mm	$10 \leq d \leq 50$ mm	
	Verankert, bewehrt		Unverankert, unbewehrt		
A1	X	X <sup>2)</sup>	---	---	---
A2	X	X	S-A2 <sup>3)</sup>	---	---
A3	X	X	S-A3 <sup>3)</sup>	---	X <sup>4)</sup>
A4	X	X	S-A4 <sup>3)</sup>	X	X
<p>1) Für Vorsatzschalen für Schleusenammerwände und vergleichbare Bauteile siehe Abschnitte 3.3.2 bzw. 4.3.2</p> <p>2) Nur bei <math>d \geq 150 \text{ mm}</math></p> <p>3) Spritzmörtel/Spritzbetone gemäß Abschnitt 5, die hinsichtlich ihres Festigkeits- und Verformungsverhaltens den entsprechenden Altbetonen angepasst sind. Insbesondere bei den Altbetonklassen A2 und A3 ist darüber hinaus bei der Planung von Schutz- und Instandsetzungsmaßnahmen das mögliche Auftreten erhöhter Wassersättigungsgrade im Altbeton hinter dem Schutz- und Instandsetzungssystem zu berücksichtigen.</p> <p>4) Nur für Betonuntergründe, bei denen der Mittelwert der Abreißfestigkeit mindestens <math>1,3 \text{ N/mm}^2</math> beträgt.</p>					

Tab. 2 ZTV-W LB 219, dort Tab. 0.3 zulässige Instandsetzungssysteme

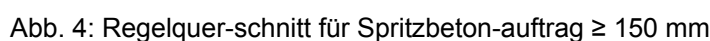
Für den Spritzbeton ergibt sich nach der Spalte 3 eine Renaissance, indem er jetzt für alle Altbetonklassen, das heißt auch für Druckfestigkeiten von  $\leq 10 \text{ N/mm}^2$  im Altbeton bzw. Untergrund angewendet werden kann.

Allerdings soll in diesem Fall eine mindestens 150 mm dicke Vorsatzschale, die zweilagig bewehrt und rückverankert ist, ausgeführt werden.

Mit dieser neuen Entwicklung wird der hochwertige und vielseitig anwendbare Spritzbeton, der für Wasserbauwerke in einer Mindestschichtdicke für die Altbetonklassen A2 bis A4 von  $d \geq 90 \text{ mm}$  einlagig bewehrt und rückverankert ausgeführt wird, einem breiten Anwendungsgebiet wieder zugeführt.

In der Vergangenheit hat die generelle und undifferenzierte Forderung nach einer Abreißfestigkeit des Betonuntergrundes von i. M.  $\geq 1,5 \text{ N/mm}^2$  aus DIN 18551 oft zum bauvertraglichen Scheitern dieser Bauweise bzw. zu Mehrkosten geführt.

Expositionsklassen XC4, XF3, XA1, XM1, XW2, XRD



## 5. Ausgeführte Objekte

Durch KUBENS wurden seit 2002 zahlreiche Wasserbauwerke nach der in ZTV-W LB 219 verankerten Spritzbetonbauweise ausgeführt, über die nachfolgend berichtet wird.

### 5.1. Talsperren aus Massengeton und mit Stahlbetonüberbauten

Die Talsperre Rappbode (höchste Staumauer Deutschlands mit 106 m über Gründung, Inbetriebnahme 1959) im Harz und die Talsperre Pöhl im Vogtland wurden mit ein- und zweilagig bewehrtem und rückverankertem Spritzbeton in den Jahren 2002 bis 2006 instand gesetzt. Es gelang insbesondere, die gekrümmten und geneigten Flächen der Hochwasser-überläufe, der Brückenpfeiler und die Hochwasserentlastung (HWE) mit Spritzbeton zu reprofilieren.



Abb. 5 Talsperre Rappbode,  
Spritzbetoninstandsetzung  
Überlaufrücken der HWE



Abb. 6 Talsperre Rappbode  
Brückenhauptprüfung nach Abschluss  
der Instandsetzungsmaßnahmen



Abb. 7 Talsperre Pöhl  
Überlaufrücken der HWE nach  
der Instandsetzung, gerundeter Überlauf



Abb. 8 Talsperre Pöhl  
HWE nach der Instandsetzung

Derzeit wird bis zum 5. November 2006 die Wasserseite der größten Talsperre Deutschlands, der Talsperre Bleiloch in Thüringen, Inbetriebnahme 1932 mit einem Gesamtstauraum von 217 Mio m<sup>3</sup> und 65 m Höhe über Gründung mit Spritzbeton instand gesetzt.

Die Wasserwechselzone erhält nach einem Betonabtrag von etwa 150 mm Dicke eine zweilagig bewehrte und rückverankerte Vorsatzschale aus Spritzbeton, 250 mm dick; oberhalb davon wird eine einlagig bewehrte, ebenfalls rückverankerte, 100 mm dicke Spritzbetonvorsatzschale ausgeführt.



## 5.2. Wehre aus Massenbeton und Stahlbeton

Das Wehr Regis in Sachsen, Inbetriebnahme 1959 zeigt besonders eindrucksvoll, welche großartigen Leistungen erfahrene Düsenführer mit Spritzbeton bei der Betoninstandsetzung erbringen können.

Die hier instand gesetzten Heberbatterien der Hochwasserentlastung belegen dies.



Abb. 9,



Abb. 10 Rechte Heberbatterie Wehr Regis nach Betonabtrag mit HDW und Bestand verankerte Bewehrung sowie nach Spritzbetonauftrag

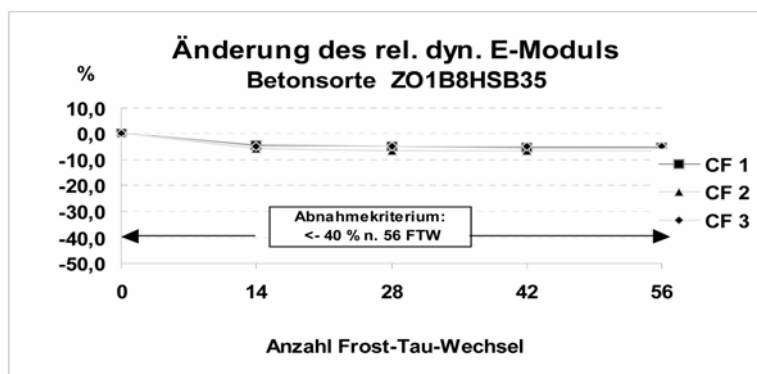
## 6. Prüfergebnisse

Talsperre Pöhl Luftseite, Spritzbeton 0/8 mm mit MHK

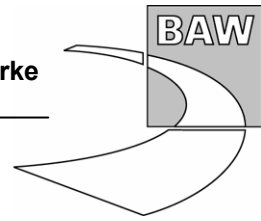
Prüfkörper		Änderung des rel. dyn. E-Moduls in % nach ... FTW			
Nr./ Meßpunkte	Durchschallungslänge mm	14	28	42	56
CF 1 /1	148,5	- 4,05	- 4,61	- 4,61	- 4,61
2	148,5	- 4,72	- 5,29	- 5,85	- 5,85
$\bar{x}$ CF 1		- 4,4	- 5,0	- 5,2	- 5,2
CF 2/1	148,5	- 6,26	- 7,34	- 7,34	- 7,34
2	148,5	- 5,78	- 5,78	- 5,78	- 5,78
$\bar{x}$ CF 2		- 6,0	- 6,6	- 6,6	- 6,6
CF 3/1	148,5	- 5,68	- 5,68	- 5,68	- 5,68
2	148,5	- 3,98	- 4,53	- 4,53	- 4,53
$\bar{x}$ CF 3		- 4,8	- 5,1	- 5,1	- 5,1
$\bar{x}$		- 5,1	- 5,5	- 5,6	- 5,6

Abb. 11

Güteprüfung  
Frostwiderstand:  
Änderung des  
relativen dynamischen E-Moduls  
während der  
Frost-Tau-Wechsel (FTW)



MPA



Dr.-Ing. T. Reschke, Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe

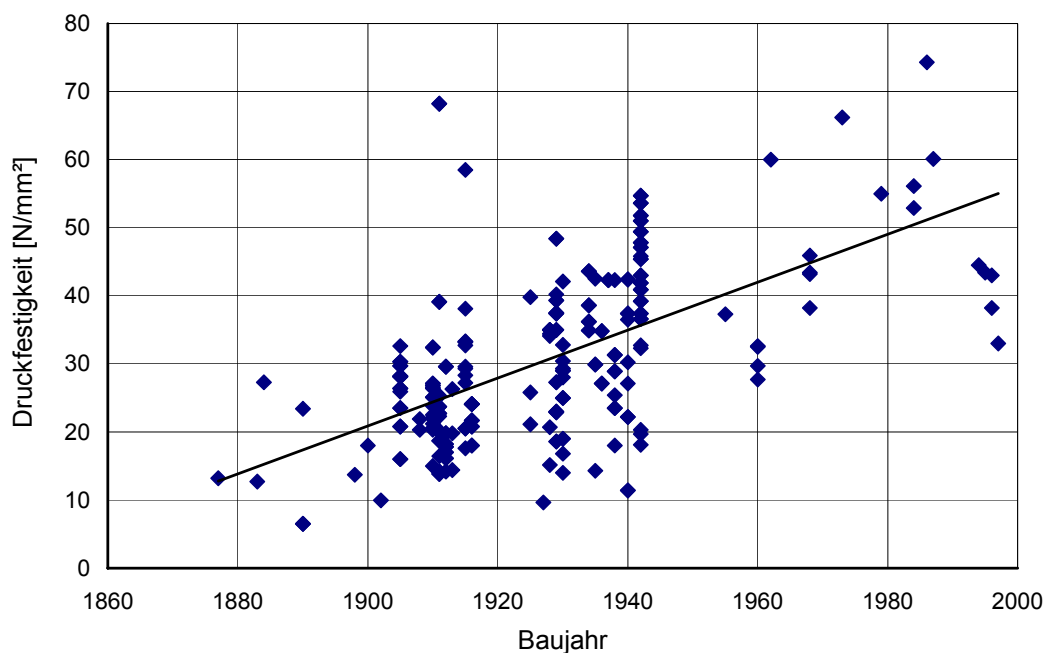
## Instandsetzung von Wasserbauwerken mit geringer festen Altbetonen

### 1. Problemstellung

Die massigen Bauteile älterer Verkehrswasserbauwerke weisen oftmals nur geringe Festigkeiten auf, welche den Untergrundanforderungen für herkömmliche dünn-schichtige Systeme (PCC, SPCC) nicht entsprechen. Auch Oberflächenschutzsysteme erweisen sich aufgrund der Feuchteexposition meist als nicht geeignet. Als Instandsetzungsmaßnahme bei minderfesten Betonen kam daher im Verkehrswasserbau bislang nur die Anordnung einer bewehrten, nach hinten in den Altbeton verankerten Vorsatzschale aus Ort- oder Spritzbeton in Frage. Es gibt jedoch eine Reihe von Bauwerken, bei denen zur Aufrechterhaltung der Dauerhaftigkeit lediglich der oberflächennahe Beton zu schützen ist. Als vielversprechende Lösung für solche Fälle wird die Entwicklung „dünn-schichtiger“, in ihren Eigenschaften (Festigkeits- und Verformungsverhalten) dem Untergrundbeton angepasster Instandsetzungssysteme angesehen, welche nur durch Adhäsionsverbund am Untergrund haften sollen.

### 2. Altbetonqualitäten

Eine Auswertung von Untersuchungsergebnissen aus Bestandsaufnahmen an älteren Wasserbauwerken (ab Baujahr 1880) zeigt, dass Betonfestigkeiten, Rohdichte und Wasseraufnahme ein breites Spektrum aufweisen. Bild 1 zeigt 253 Mittelwerte der Druckfestigkeit in



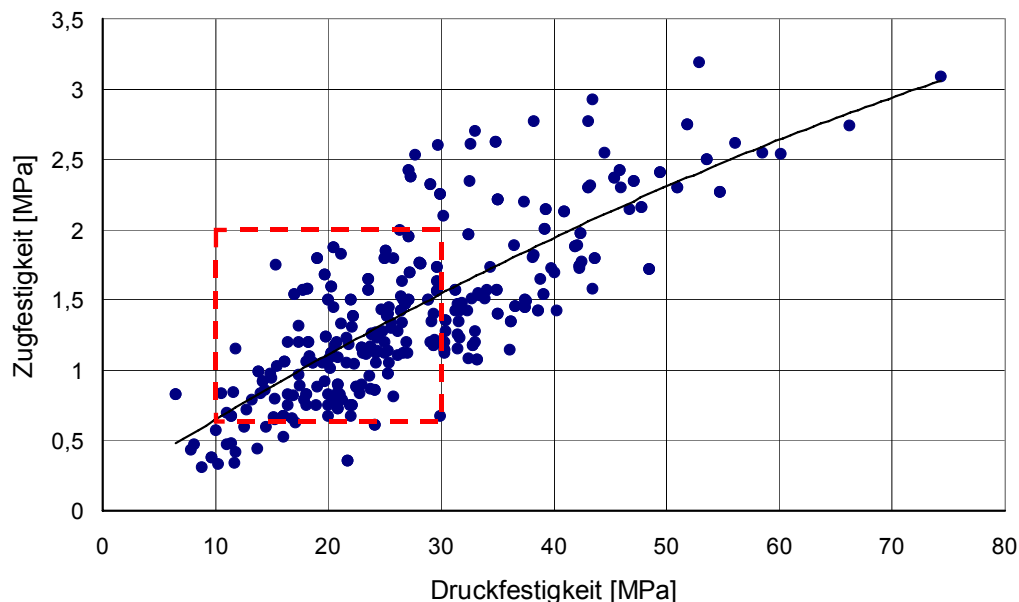
Abhängigkeit vom Baujahr.

**Bild 1:** Betondruckfestigkeit von Wasserbauwerken in Abhängigkeit vom Baujahr



Bezogen auf die Druckfestigkeit sind die Betone der bestehenden Bauwerke in ihrer Qualität oft sehr inhomogen, was sich in entsprechend hohen Variationskoeffizienten der einzelnen Mittelwerte widerspiegelt. Trotz dieser großen Streuungen ist festzuhalten, dass etwa 21 % der untersuchten Altbetone mittlere Druckfestigkeiten unter 20 N/mm<sup>2</sup> und weitere 36 % Druckfestigkeiten bis 30 N/mm<sup>2</sup> aufweisen.

Neben den Druckfestigkeitswerten der Altbetone lagen größtenteils auch Ergebnisse der Prüfung auf Spaltzugfestigkeit vor. Aus diesen wurde die Zugfestigkeit berechnet und in Bild 2 über der Druckfestigkeit aufgetragen. Für die ermittelten mittleren Betondruckfestigkeiten zwischen 10 und 30 N/mm<sup>2</sup> liegen die Zugfestigkeiten in weit über 80 % der Fälle zwischen 0,7 und 2,0 N/mm<sup>2</sup> (markiertes Feld in Bild 2).



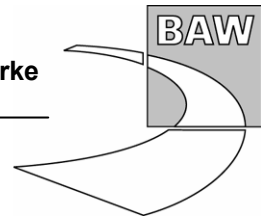
**Bild 2:** Zugfestigkeit in Abhängigkeit der Druckfestigkeit

Auf Basis der beschriebenen Untersuchungsergebnisse wurden in der ZTV-W LB 219 (2004) /1/ Altbetonklassen A1 bis A4 definiert, in welche die instand zu setzenden Betonbauteile oder Bereiche auf der Basis ihrer zum Zeitpunkt der Instandsetzung vorhandenen Druck- bzw. Abreißfestigkeit einzuordnen sind.

1	2	3	4
Altbetonklasse	Druckfestigkeit <sup>1)</sup>	Abreißfestigkeit <sup>2)</sup>	
		Mittelwert	Kleinster Einzelwert
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
A1	≤ 10	---	---
A2	> 10	≥ 0,8	≥ 0,5
A3	> 20	≥ 1,2	≥ 0,8
A4	> 30	≥ 1,5	≥ 1,0

<sup>1)</sup> Mittelwert der Druckfestigkeit (Bestimmung nach DIN EN 12504-1)  
<sup>2)</sup> Kleinster Einzelwert / Mittelwert (Bestimmung nach DIN EN 1542)

**Tabelle 1:** Kriterien für die Einordnung des Altbetons im Bereich der Instandsetzungsebene



Wie diese Auswertung der Altbetonqualitäten zeigt, ist bei Wasserbauwerken im Bereich der WSV ein Anteil von über 50 % den Klassen A2 und A3 zuzuordnen. Bei einem nicht unerheblichen Teil dieser Bauwerke besteht das Instandsetzungsziel in erster Linie in der Aufrechterhaltung der Dauerhaftigkeit. Dies kann im Prinzip mit einer „dünnen“ Vorsatzschale ohne Verankerung und Bewehrung erreicht werden. Für die geringer festen Untergründe können jedoch die üblichen für den Hochbau konzipierten Instandsetzungsmaterialien gemäß RL SIB /2/ nicht verwendet werden. Um die nur auf Adhäsion beruhende Verbundwirkung zum Untergrund zu gewährleisten ist es erforderlich, die Eigenschaften der entsprechenden Spritzmörtel/Spritzbetone hinsichtlich ihres Festigkeits- und Verformungsverhaltens an den Untergrundbeton anzupassen. Mit der neuen ZTV-W LB 219 (2004) und dem BAW-Merkblatt "Spritzmörtel" /3/ wurde dieses Konzept aufgegriffen und für die Altbetonklassen A2 und A3 Anforderungen an entsprechende Spritzmörtel/Spritzbetone S-A2 und S-A3 aufgestellt.

### **3. Anpassung der Instandsetzungsmaterialien an den Untergrund**

#### **3.1 Anpassungsmöglichkeiten**

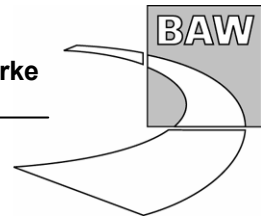
Anpassung bedeutet, dass die Spritzmörtel/Spritzbetone mit dem Altbeton „verträglich“ sein müssen. In erster Linie kommt es darauf an, Zwangsspannungen zwischen Untergrund und Spritzmörtel/Spritzbeton auf ein Minimum zu reduzieren, da diese zu Verbundstörungen und somit letztlich zu einem Ablösen der applizierten Schicht führen können.

In der Applikations- und Erhärtungsphase resultieren Zwangsspannungen vorwiegend aus dem Schwinden des aufgetragenen Mörtels bzw. Betons. Praxisbeobachtungen zeigen, dass sich bei geringer festen Untergründen insbesondere Systeme mit geringem Schwindmaß bewährt haben. Durch ein geringes Schwindmaß wird die Beanspruchung des Verbundes anscheinend signifikant verringert und das Auftreten von Rissen im Instandsetzungssystem erheblich reduziert. Da das anfängliche Schwinden neben dem hygrisch bedingten (Trocknungsschwinden) zusätzlich einen irreversiblen Anteil an chemischem Schwinden enthält, erscheint dies plausibel.

Während der Nutzungsphase stehen neben dem Schwinden weitere Aspekte wie Quellen, unterschiedliche thermische Dehnung und unterschiedliche E-Moduln von Altbeton und Spritzmörtel/Spritzbeton im Vordergrund. Günstig wirkt sich daher neben einer Minimierung der hygrischen und thermischen Dehnungen durch entsprechende Materialauswahl eine Anpassung der Festigkeiten bzw. des E-Moduls aus.

#### **3.2 Grundsatzuntersuchungen und Prüfverfahren**

Für die Festlegung der im BAW-Merkblatt „Spritzmörtel“ enthaltenen Anforderungen wurde in Zusammenarbeit mit verschiedenen Prüf- und Forschungseinrichtungen ein umfangreiches Untersuchungsprogramm an 2 Trocken- und 2 Nassspritzsystemen durchgeführt.

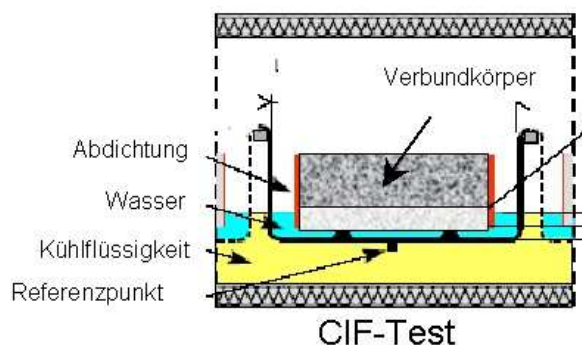


Zunächst wurden die Festigkeits- und Verformungseigenschaften der einzelnen Spritzmörtel/Spritzbetone untersucht. Besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Begrenzung des Schwindens gelegt. Bis zum Alter von 28 Tagen sollte ein Grenzwert 0,6 ‰, bis zum Alter von 90 Tagen ein Grenzwert von 0,8 ‰ nicht überschritten werden. Von den 4 Systemen wurde diese Anforderung nur von einem Trockenspritzmörtel erfüllt.

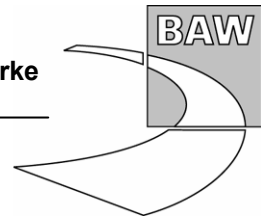
Die Anforderungen hinsichtlich Druck- und Zugfestigkeit sowie E-Modul orientierten sich an Werten, die an Altbetonen der entsprechenden Klassen ermittelt wurden. Die Druckfestigkeit überstieg diese Richtwerte deutlich und lag zwischen 36 und 81 N/mm<sup>2</sup>. Hier besteht noch Anpassungsbedarf. Bessere Werte wurden für den E-Modul ermittelt. Anhand der Untersuchung alter Bauwerke sind im Bereich der Altbetonklasse A2 Werte von 12 bis 23 N/mm<sup>2</sup> und der Altbetonklasse A3 von 15 bis 25 N/mm<sup>2</sup> anzutreffen. Die Trockenspritzmörtel wiesen etwas zu hohe Werte von 27 und 32 kN/mm<sup>2</sup> auf, sehr günstig erwiesen sich dagegen die Nassspritzmörtel mit E-Moduln von 17 und 21 kN/mm<sup>2</sup>.

Da die Einhaltung bestimmter materialspezifischer Kriterien alleine nicht immer ausreichend ist (eine für sich betrachtet eher ungünstige Eigenschaft kann wegen des komplexen Zusammenspiels der verschiedenen Eigenschaften durchaus kompensiert werden), wurden als entscheidendes Kriterium für die Beurteilung des Verbundverhaltens Untersuchungen an Verbundkörpern durchgeführt. Dafür wurden zunächst entsprechende Grundkörperbetone A2 und A3 entwickelt, die in ihren Festigkeitseigenschaften den Altbetonen angepasst sind (Druckfestigkeit  $15 \pm 3$  bzw.  $25 \pm 3$  N/mm<sup>2</sup>, Haftzugfestigkeit  $\geq 0,8$  bzw.  $\geq 1,2$  N/mm<sup>2</sup>).

Auf diese Grundkörper wurden die Spritzmörtel/Spritzbetone in Schichtdicken von 2 und 6 cm appliziert und die Verbundkörper anschließend verschiedenen Beanspruchungen unterworfen. Die stärkste Beanspruchung wurde dabei mit den Prüfungen der „thermischen Verträglichkeit“ realisiert. Diese umfassen die Prüfung der Haftzugfestigkeit nach Temperaturwechselbeanspruchung analog RL SIB ("Gewitterregen") sowie eine speziell angepasste Prüfung der Haftzugfestigkeit nach Frost-Tau-Beanspruchung an Verbundkörpern in Anlehnung an das CIF-Verfahren /4/ (Bild 3). Als Zielwert wurden mittlere Haftverbundwerte von  $\geq 0,8$  N/mm<sup>2</sup> für den Untergrund A2 und von  $\geq 1,2$  N/mm<sup>2</sup> für den Untergrund A3 angestrebt.



**Bild 3:** Prinzip der Frost-Tau-Beanspruchung an Verbundkörpern (Quelle: BAM)



Die Ergebnisse zeigen, dass nur die Materialien mit geringem Schwinden einen ausreichenden Haftverbund nach den oben beschriebenen Prüfungen aufwiesen. Tendenziell wirkt sich ein geringer E-Modul ebenfalls günstig aus, scheint aber bei zu hohen Schwindwerten nur zweitrangig zu sein.

Letztlich hat nur eines der Systeme (Trockenspritzmörtel) alle Anforderungen erfüllt. Insgesamt zeigten die Untersuchungen jedoch, dass eine Anpassung von Spritzbetonen/Spritzmörteln an die üblichen Altbetonqualitäten durchaus machbar ist. Die maßgebenden Grenzwerte wurden daher in das BAW-Merkblatt „Spritzmörtel“ übernommen.

### 3.3 Anforderungen BAW-Merkblatt „Spritzmörtel“

Die Anforderungen an die Spritzmörtel/Spritzbetone S-A2, S-A3 und S-A4 sind im BAW-Merkblatt „Spritzmörtel“ festgelegt:

1. Für die Spritzmörtel/Spritzbetone S-A4 gelten im wesentlichen die gleichen Anforderungen wie in der RILI SIB für Mörtel M2 (SPCC) gefordert. Diese wurden – analog zur alten ZTV-W LB 219 (Ausgabe 1997) – um einige Wasserbauspezifische Anforderungen (z.B. Dauerhaftigkeit bei Wasserwechselbeanspruchung) ergänzt.
2. Für die Spritzmörtel/Spritzbetone S-A2 und S-A3 wurden über die RILI SIB hinausgehende Anforderungen aufgestellt, welche eine Bewertung der Anpassung des Festigkeits- und Verformungsverhaltens an den Betonuntergrund zulassen. Hier sind neben einer entsprechenden Absenkung der Festigkeiten insbesondere die Beschränkung des Schwindens sowie die speziellen Prüfungen zur thermischen Verträglichkeit zu nennen.
3. Des weiteren wurden für alle Spritzmörtel/Spritzbetone verschiedene Performance-Prüfungen festgelegt, um die Dauerhaftigkeit bei bestimmten Expositionen (Chloridangriff, Frost- und Frost-Tausalz-Angriff) zu bewerten. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick, für welche Expositionen die Spritzmörtel/Spritzbetone – ggf. aufgrund entsprechender Zusatzprüfungen bzw. Nachweise – eingesetzt werden können:

1	2	3
Betonersatzsystem	Expositionsklassen	
	mindestens	zusätzlich möglich aufgrund von Zusatzprüfungen bzw. Nachweisen
S-A2, S-A3	XF1, XF2, XW1, XW2	XD1, XD2, XD3, XS1, XS2, XS3, XM1 (ggf. XC1 bis XC4)
S-A4	XF1, XF2, XF3, XF4, XC1, XC2, XC3, XC4, XW1, XW2	XD1, XD2, XD3, XS1, XS2, XS3, XA1, XA2, XM1

**Tabelle 2:** Expositionsklassen für Produkte gemäß ZTV-W LB 219, Abschnitt 5

Bei Nachweis der im BAW-Merkblatt „Spritzmörtel“ festgelegten Anforderungen erfolgt eine Listung in den „Zusammenstellungen der für den Wasserbau zugelassenen Stoffe, Einrichtungen und Verfahren“ (Zusammenstellungen Wasserbau). Diese Zusammenstellungen sind im Internet unter

<http://www.baw.de/vip/abteilungen/baut/empfehlungen/index.html>

veröffentlicht.

#### 4. Weitergehende Entwicklungen

Die Anforderungen an die S-A2 und S-A3-Mörtel beruhen bislang auf Prüfungen im Labormaßstab. Um die Eignung und die Aussagefähigkeit der getroffenen Anforderungen besser bewerten zu können, wurde zwischenzeitlich auf dem Gelände der BAW eine spezielle Versuchswand mit einem Stampfbeton erstellt und auf diese verschiedene Spritzmörtel/Spritzbetone (u.a. 2 Materialien aus den Grundlagenuntersuchungen) appliziert (Bild 4).



**Bild 4:** Versuchswand zur Prüfung der Dauerhaftigkeit angepasster Systeme

Durch Langzeitbeobachtung soll so die Eignung der Instandsetzungsmaterialien besser bewertet werden, da sich Zwangsspannungen auf diesen ca. 10 m<sup>2</sup> großen Flächen stärker auswirken. Bislang (nach 1 Jahr) haben sich alle applizierten Materialien bewährt.

Eine weitere Entwicklung von Materialien mit an den Untergrund angepassten Eigenschaften betrifft einen **schnell erhärtenden** Instandsetzungsbeton für dünne Vorsatzschalen mit **geschalter Oberfläche**. Mit dem Material wurden zunächst Laboruntersuchungen durchgeführt. Die Festigkeit beträgt nach 6 Stunden ca. 12 N/mm<sup>2</sup>. Weitergehende Prüfungen zur Dauerhaftigkeit und zum Verbundverhalten in Anlehnung an die Verbundkörperprüfungen



des BAW-Merkblatts „Mörtel“ lieferten gute Ergebnisse. Bei einem ersten Feldversuch an einer größeren Fläche (Bild 5) zeigten sich jedoch Schwierigkeiten bei der Einstellung der Verarbeitungseigenschaften und beim Einbringen des Betons, die zu ungenügenden Oberflächeneigenschaften führten. Das Material wurde zwischenzeitlich im Hinblick auf die Verarbeitungseigenschaften weiter optimiert. Zusätzlich wurde ein zweites, besonders schwindarmes Material, konzipiert. Bei erneuten Laboruntersuchungen an „geschalteten“ Verbundkörpern (Bild 6) erwiesen sich nun beide Materialien als geeignet.



**Bild 5:** Versuchsaufbau Feldversuch

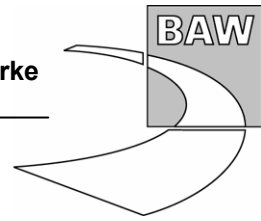


**Bild 6:** geschalter Verbundkörper

In Kürze sollen beide Materialien an der Versuchswand der BAW auf einer Fläche von jeweils 5 m x 2 m appliziert werden, wobei sowohl die Einbautechnologie (Schalung, Verankerung, Einbau und Verdichtung) zu überprüfen, als auch die Dauerhaftigkeit der Materialien durch Langzeitbeobachtung zu bewerten ist.

### **Literaturverzeichnis**

- /1/ Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau (ZTV-W) für Schutz und Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken (Leistungsbereich 219); Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Abteilung Eisenbahnen, Wasserstraßen
- /2/ Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Teile 1 bis 3; Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb), Oktober 2001
- /3/ BAW-Merkblatt "Spritzmörtel/Spritzbeton nach ZTV-W LB 219, Abschnitt 5"; Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
- /4/ BAW-Merkblatt "Frostprüfung von Beton"; Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe



Dipl.-Ing. S. Riekenberg, WSA Bremen (früher WSA Rheine)

## **Grundinstandsetzung der Schleusen Hamm und Werries am DHK**

### **1. Zusammenfassung**

Heute befindet sich der Datteln-Hamm-Kanal (DHK) mit 47 km Länge zusammen mit der Wasserverteilungsanlage in Hamm neben Teilen des Dortmund-Ems-Kanals und der Ems im Verantwortungsbereich des Wasser- und Schifffahrtsamtes (WSA) Rheine. In seiner ca. 11 km langen so genannten Oststrecke liegen die beiden DHK-Schleusen Hamm und Werries.

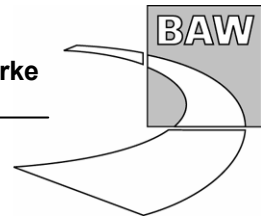
Die Schleuse Hamm bei DHK-km 36,985 stammt aus der Gründerzeit des Kanals (Baujahr 1914), wurde in Massivbauweise errichtet und wies vor der Grundinstandsetzung Nutzmaße von 82 m x 9,90 m auf. Die Schleuse Werries wurde 1933 hergestellt, ihre Kammer in Spundwand- und ihre Häupter in Massivbauweise. Sie liegt bei DHK-km 40,410 und ihre Nutzmaße betragen 102 m x 11,90 m. Zusammen überwinden die Schleusen einen Höhenunterschied von ca. 6,75 m. Beide Anlagen unterlagen in der Vergangenheit dem untertägigen Steinkohlenabbau und haben Senkungen von im Mittel 16 cm bzw. 7 cm erfahren.

Bei Bauwerksprüfungen Ende der 90er Jahre festgestellte Schäden im Stahlwasser- und Massivbau machten eine umfangreiche Grundinstandsetzung beider Schleusenbauwerke erforderlich. Die 2004/2005 durchgeführten Arbeiten umfassten die Bereiche Stahlwasserbau, Massivbau und Elektrotechnik.

Stahlwasserbau: die alten Stemmtore beider Schleusen wurden durch neue Faltwerkskonstruktionen ersetzt, die anstelle der alten Hydraulikzylinder heute durch Elektrohübsylinder angetrieben werden. Gleiches gilt für die Schützverschlüsse der oberen und unteren Umlaufkanäle und ihre Antriebe. Beide Anlagen erhielten außerdem neue Stoßschutzeinrichtungen. Zur Erhöhung der Betriebssicherheit wurden Eisfreihaltanlagen installiert (Tauchmotorrührwerke). Die Erneuerung der Revisionsverschlüsse im Ober- und Unterwasser erfolgte durch den Ersatz der vorhandenen Nadelverschlüsse durch Dammbalkenverschlüsse.

Massivbau: die vorhandenen Schleusenbetriebsgebäude wurden durch zeitgemäße Neubauten ersetzt, die auch den Hauptteil der geplanten Fernwirktechnik aufnehmen. Weiterhin fanden umfangreiche Betonsanierungsarbeiten an den Häuption statt. In den Kammern wurden die Panzerungen ergänzt bzw. ersetzt. Eine Besonderheit stellen die konstruktiven Änderungen am Drempel der Schleuse Hamm dar: zusammen mit dem neuen Stoßbalken konnte durch eine Änderung der Massivbauteile die nutzbare Kammerlänge auf 86m erhöht werden. So wurden die Schifffahrtsbedingungen in der gesamten DHK-Oststrecke verbessert, da hier künftig auch das Europaschiff verkehren kann.

Elektro- und Nachrichtentechnik: die elektrischen Haupt- und Umverteilungen sowie die Steuerungen wurden ersetzt. In beiden Schleusenbereichen wurden Blitzschutzanlagen installiert, die Schifffahrtszeichen und Pegelanlagen wurden ebenfalls erneuert. Weiterhin wurden beide Anlagen mit kathodischen Korrosionsschutzanlagen ausgerüstet. An der Schleuse Hamm wurde ein bildschirmorientierter Zentralsteuerstand für die Fernbedienung der Schleuse Werries eingerichtet. Aus diesem Zweck wurde zwischen den beiden Anlagen



über eine Länge von 3,5 km ein Lichtwellenleiterkabel verlegt. Gemeinsam mit den zugehörigen Videoüberwachungsanlagen wurde somit die Voraussetzung für eine künftige Verlängerung der Schleusungszeiten geschaffen, was am DHK zu weiteren Vorteilen für die Schifffahrt führt.

Die Planungsarbeiten (Entwurf und Ausschreibung) wurden vom Ingenieurbüro RMD Consult, München übernommen, der Hauptteil der Arbeiten vor Ort erfolgte durch eine Arbeitsgemeinschaft der Partner Klostermann, Hamm (Massivbau) und Stahlbau Engineering Hannover (Stahlwasserbau). Für die übrigen Arbeiten zeichneten die Firmen Osmo, Georgsmarienhütte (Elektrotechnik) und Rundholz, Dortmund (Hochbau) verantwortlich.

Die Maßnahme war gekennzeichnet von einem hohen baubetrieblichen Anspruch, da zahlreiche Beteiligte auf und außerhalb der Baustelle zu koordinieren waren. Viele Arbeiten waren zeitnah oder parallel auszuführen, um die Beeinträchtigungen für die Schifffahrt so gering wie möglich zu halten.

Bereits 2001 begann die Planung und Vorbereitung der erforderlichen Grundinstandsetzung, die Arbeiten vor Ort fanden hauptsächlich 2004 statt. Der Großteil der Arbeiten fand in der achtwöchigen Sperrpause vom 18.8. – 12.10.2004 statt. In diesem Zeitraum wurde auch der Hauptteil der Gesamtauftragssumme von insgesamt 7,1 Mio. € umgesetzt. Die Restarbeiten wurden Anfang 2005 abgeschlossen.

Die Betriebssicherheit beider Schleusen für einen weiteren Nutzungszeitraum von mindestens 20 Jahren ist sichergestellt. Die Einrichtung der Fernbedienung und die Vergrößerung der Nutzlänge an der Schleuse Hamm brachten deutliche Verbesserungen für die Schifffahrtsbedingungen auf dem Datteln-Hamm-Kanal mit sich.

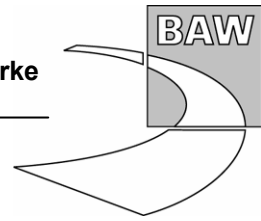
## **2. Projekterfahrungen**

Beim WSA Rheine bestehen umfangreiche Erfahrungen aus den Phasen Projektvorbereitung, Bauabwicklung und Betrieb. Diese Kurzfassung beschränkt sich hauptsächlich auf die Erfahrungen aus der Bauphase. Weitere Informationen, insbesondere zum Betrieb der Anlagen, enthält der Vortrag. Darüber hinaus gesammelte Erfahrungen, beispielsweise aus der Anbahnung der Ingenieurverträge, der Entwurfs- und Ausschreibungsplanung, der Vergabe von Bau- und sonstigen Leistungen und dem Probetrieb können einem umfassenden Erfahrungsbereich entnommen werden, der beim WSA Rheine angefordert werden kann.

### **2.1 Anbahnung des Ingenieurvertrages**

Zu empfehlen ist die rechtzeitige Zusammenstellung sowie die intensive Prüfung und Aufarbeitung von Bestandsunterlagen, an die hohe Ansprüche im Hinblick auf Vollständigkeit und Qualität gestellt werden sollten. Die spätere Verwendung dieser Unterlagen und der darin enthaltenen Details bei der Entwurfsaufstellung begünstigt eine hohe Planungsqualität, z.B. bei der Mengenermittlung, und verringert Schwierigkeiten bei der Bauausführung (insbesondere bei der Entwicklung der Ausführungspläne aus Entwurfsplänen). Weiterhin helfen sie bei der Formulierung der zu erbringenden Ingenieurleistungen durch umfassende Informationen über die baulichen Anlagen.





### Vertragsstruktur

Bei Projekten dieser Größenordnung und Dauer kann der Abschluss eines Stufenvertrages eine sinnvolle Option sein. Dabei behält sich der Auftraggeber vor, das Vertragsverhältnis nach einer vorher festzulegenden Bearbeitungsphase (z. B. Entwurf AU) zu verlängern. Auch wenn grundsätzlich die ganzheitliche Bearbeitung durch ein Ingenieurbüro anzustreben ist, so bleibt die Möglichkeit interessant, bei Leistungsschwächen oder -mängeln einen Teil der Leistung neu zu vergeben. Die Entscheidung ist im Einzelfall zu fällen.

### Wichtige Inhalte des Vertrages

Es ist sinnvoll, den Vertragspartner zu personeller Kontinuität zu verpflichten. Dieses ist ohne Schwierigkeiten vertraglich zu verankern und stellt sicher, dass es auf Seiten des Ingenieurbüros zwischen oder gar während wichtiger Bearbeitungsphasen nicht zu Reibungs- und Informationsverlusten durch einen Bearbeiterwechsel kommt, der beispielsweise aus Gründen der wirtschaftlichen Personaldisposition stattfindet.

Auf Seiten des beauftragten Ingenieurbüros herrschte teilweise Unkenntnis über relevante Verwaltungsvorschriften (z.B. VV-WSV 2107), so kam es beispielsweise zu Abweichungen im Hinblick auf Form und Aufbau des zu erstellenden Entwurfes. Die Folge waren häufige Korrekturen und damit verbunden Zeitverzögerungen.

Es erscheint zweckmäßig, den Entwurf bereits in der Erstellungsphase mit den späteren Nutzern der neuen Anlagen abzustimmen (u. a. zuständiger Außenbezirk), hier sind wertvolle Erfahrungen aus der Vergangenheit vorhanden, die beim beauftragten Ingenieurbüro fehlen. So kann die Akzeptanz für nötige betriebsrelevante Änderungen erhöht werden oder es können konstruktive Änderungsvorschläge erfolgen.

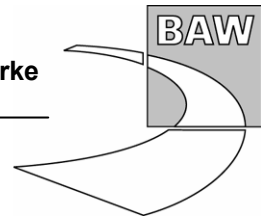
## **2.2 Bauabwicklung**

### Arbeiten im Bestand und Konsequenzen

Der Großteil der Grundinstandsetzung zeichnete sich durch Arbeiten im und am Bestand aus. Defizite in den Bestandsunterlagen, die im Zuge der Bauvorbereitung nicht durch örtliche Vermessungsleistungen ausgeglichen wurden oder werden konnten, führten vor allem zu Beginn der Bauausführung zu Problemen. Diese äußerten sich u.a. in Maß- und Detailunterschieden zwischen den Entwurfs- und Ausführungsplänen und dem Aufmaß vor Ort. Diese Unterschiede konnten jedoch in den ersten Wochen der Bauabwicklung und insbesondere in der Phase der freien Zugänglichkeit der gesamten Anlage während der Trockenlegung ausgeglichen werden.

Muss das Aufmaß aus der Entwurfsphase noch ergänzt werden, so sollte dies unmittelbar nach Auftragsvergabe in Abstimmung mit dem Unternehmer stattfinden, um vorhandene Ungenauigkeiten und Abweichungen vor der Erstellung der Ausführungspläne zu kompensieren.

Zur Beschreibung der Randbedingungen vor Ort waren im Vorfeld der Ausschreibung Untersuchungen zur Betongüte in den relevanten Bauwerksbereichen durchgeführt worden. Im Zuge der Bauausführung zeigten sich teilweise deutlich schlechtere Qualitäten am Bestand,



als durch die Ergebnisse der stichprobenartigen Untersuchungen zu erwarten gewesen wäre. Vor allem für die Abbruch- und Betonagearbeiten im Bereich der Häupter waren daher Anpassungen der Technik erforderlich (zusätzliche Sägeschnitte, statisch erforderliche Abstützung der Dammbalkenverschlüsse, etc.). Im Vorfeld der Maßnahme sollten ausreichend viele Aufschlüsse der Bausubstanz erfolgen, um ein repräsentatives Bild der Baustoffqualität zu erhalten.

Die bei der Grundinstandsetzung der DHK-Schleusen neu zu erstellenden Revisionsverschlüsse dienten nach ihrer Fertigstellung der Trockenlegung des gesamten weiteren Baubereiches. Ihre Funktion und Dichtheit wurde in einer Probeeindämmung rechtzeitig vor der eigentlichen Sperrpause überprüft und nachgewiesen. Dieser Schritt vermeidet evtl. erforderliche Abdichtungsmaßnahmen in der ohnehin knapp bemessenen Sperrzeit und ist daher zu empfehlen.

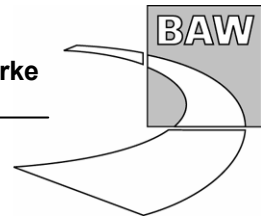
#### Zeitplanung und -management

Das Arbeitszeitmodell bei den DHK-Schleusen sah zu Anfang eine 6-Tage-Woche im Einschichtbetrieb vor. In Anbetracht der festen Terminierung der erforderlichen Sperrpause verursachten Unplanmäßigkeiten viele Terminzwänge auf der Baustelle. Die daraus resultierenden Abweichungen zum planmäßigen zeitlichen Bauablauf konnten jedoch schadlos durch personelle Verstärkungen und die Verlängerung der Arbeitszeiten (2- und 3-Schicht-Betrieb, Sonntagsarbeit) aufgefangen werden, weil entsprechende (Zeit-) Reserven vorhanden waren. Das hier praktizierte Vorgehen ist unbedingt zu empfehlen. Stärker ausgelastete Arbeitszeitmodelle haben den Nachteil, dass sie über keine oder nur wenige Reserven verfügen, die bei unplanmäßigen Schwierigkeiten aktiviert werden können.

Der für den Bereich Schleusenbedienung (bzw. Fernsteuerung) erforderliche Probebetrieb sollte ursprünglich vollständig vor Beendigung der Sperrpause durchgeführt werden. Die Information der zur Verfügung stehenden Sperrpause an die verschiedenen Unternehmer ist unterschiedlich interpretiert worden. So war zwar allen Beteiligten grundsätzlich bekannt, dass sämtliche Arbeiten zum genannten Endtermin der Sperrung fertig gestellt sein mussten. Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Gewerken, die zeitverzögernd wirkten, waren jedoch nicht zu vermeiden. Diese Umstände führten gerade in den letzten Tagen vor der Verkehrsfreigabe zu Problemen, die nur durch einen erhöhten Arbeits- und Koordinierungsaufwand und die Einrichtung von Provisorien aufgefangen werden konnten. Vor Beendigung der Sperrpause wurde ein vollständiger Testlauf durchgeführt, um die Betriebssicherheit der Anlage sicherzustellen. Weiterführende Verlege- und Einstellungsarbeiten fanden dann anschließend unter Nutzung von Schifffahrtspausen statt.

#### Prüfleistungen

Bei den Grundinstandsetzungsarbeiten an den zum Teil 90 Jahre alten Anlagen am DHK kam es zu zahlreichen vorab nicht planbaren Änderungen, die sich erst im Bauverlauf ergaben. Die baubegleitende (Um-) Planung erschwerte geregelte Prüfläufe und damit die Vorbereitung und Ausführung der Arbeiten auf der Baustelle teils erheblich. Daher sind optimierte Prüfläufe erforderlich, sollen beispielsweise unerwartete Planänderungen und damit verbundene zusätzliche Prüfungen schadlos aufgefangen werden. So kann es in engen Zeitfenstern



erforderlich werden und zweckmäßig sein, parallele Prüfungen zuzulassen. Eine Ausführungszeichnung kann beispielsweise zeitgleich vom Prüfstatiker, dem Schweißfachingenieur (u. U. in Personalunion) und weiteren fachlich Beteiligten (z.B. FfM) geprüft werden. Der Prüflauf wird im optimalen Fall stark verkürzt. Für den Fall, dass Prüfeintragungen statischer Natur Auswirkungen auf den Verantwortungsbereich des Stahlbauabnahmeingenieurs haben oder umgekehrt, kann für diese Teile eine kurzfristige Nachprüfung durchgeführt werden. Diese Vorgehensweise ist bei geringem Planlauf sicherlich nicht erforderlich, in der Hochphase der Arbeiten am DHK jedoch durchaus angebracht. Hier durchliefen Pläne in erheblichem Umfang („kartonweise“) den Prüflauf. Im Zuge des abgewickelten Projektes wurde teilweise so verfahren, um Zeit zu sparen, Nachprüfungen waren nur in geringem Ausmaß erforderlich. Parallele Prüfläufe haben sich hier bewährt und können bei anderen Projekten empfohlen werden.

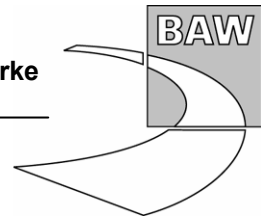
#### Koordinierung von Bautätigkeiten

In der Ausführungsphase hat sich gezeigt, dass die Aufteilung der Gesamtleistung in verschiedene Leistungsblöcke zu erhöhtem Koordinierungsaufwand auf der Baustelle führte, der durch den Baubevollmächtigten erbracht werden musste. Ursächlich hierfür war, dass die verantwortlichen Bauleiter der einzelnen Gewerke (z.B. Stahlwasserbau und E-Technik) in erster Linie die Arbeiten der in ihrem Auftrag tätigen Nachunternehmer koordinierten, Wechselwirkungen zu den Arbeiten anderer Unternehmen auf der Baustelle (andere Gewerke) für sie jedoch eher von untergeordneter Bedeutung waren. Aufgrund der engen baulichen Zusammenhänge waren die Ausführungsplanungen der ARGE-Partner selbstverständlich sorgfältig aufeinander abzustimmen, um Informationsschwierigkeiten und Abstimmungsdefizite möglichst zu vermeiden. Hierzu geeignet ist die konsequente Anordnung und Nachhaltung regelmäßiger und gut protokollierter Baubesprechungen, in denen alle Beteiligten ausreichende Informationen erhalten und selbst weitergeben können. In diesem Zusammenhang wird an den Baubevollmächtigten ein erhöhter Anspruch an Koordinierungs- und Entscheidungsfähigkeit gestellt.

#### Bauüberwachung

In Anbetracht der engen Terminzwänge war zügiges Arbeiten wichtig. Dabei bestand die Gefahr, dass die ausführenden Unternehmen die notwendige Sorgfalt vernachlässigen, um trotz enger Zeitvorgaben planmäßig voranzukommen. Dem wurde durch eine kompetente und personell ausreichende Bauüberwachung wirksam begegnet. So konnte eine hinreichende Qualitätssicherung erreicht werden.

Der Bauüberwachung wurden die Ausschreibungs- bzw. Vertragsunterlagen rechtzeitig zur Verfügung gestellt. So konnten sich die Mitarbeiter mit dem Projekt vertraut machen und Rückfragen mit dem Baubevollmächtigten geklärt werden. Gute Kenntnisse von den geplanten Arbeiten tragen in hohem Maße zum sicheren Auftreten auf der Baustelle und zur Fehlervermeidung bei. Dieses Vorgehen hat sich bewährt und kann uneingeschränkt empfohlen werden.



Es ist zweckmäßig, für Elektroarbeiten eine zusätzliche entsprechend ausgebildete Bauüberwachung zu stellen, z.B. durch den Bauhof in Zusammenarbeit mit der FfM. Der verantwortliche Baubevollmächtigte hat regelmäßig an den Ortsterminen teilzunehmen.

Zur späteren Bedienung und Wartung der Elektrotechnik durch Personal des WSA waren Schulungsveranstaltungen vertraglich vereinbart. Im Zuge der baulichen Umsetzung im Vorfeld dieser Schulungen kann darüber hinaus die regelmäßige Anwesenheit eines Elektrikers des später zuständigen Bauhofes sinnvoll sein. Die Begleitung der Bauzeit erhöht das Detailwissen und trägt zur Kompetenzerhöhung bei.

#### Besonderheit Kabelarbeiten

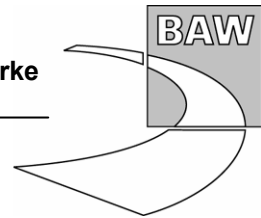
Schwierigkeiten ergaben sich im Zuge der Ausführung auch im Bereich der Kabelverlegearbeiten selbst. Die verlegten Kabelzugrohre waren zum Teil nicht ausreichend dimensioniert, zusätzliche Trassen waren nachträglich und mit erhöhtem Aufwand zu erstellen. Dem Kabelverlegeplan ist daher besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Grundsätzlich ist er rechtzeitig im Vorfeld der Betonage und vor Erstellung der zugehörigen Ausführungspläne zu erstellen. Federführend hierbei sollte der Bereich E-Technik sein (z.B. FfM) in enger Abstimmung mit dem Bereich Bau. Bei der Ausbildung der Kabelkanäle ist unbedingt auf innen glattwandige, stabil ummantelte Rohre ausreichenden Durchmessers zu achten, nur so können Schwierigkeiten durch Trittschädigungen bei der Betonage oder Probleme beim Einziehen der Kabel vermieden werden. Auch die für enge Radien besser geeigneten geriffelten Kabelzugrohre gibt es mit entsprechend wirksamen Ummantelungen und glatter Innenwandung. Die Leerrohre sind vor der Betonage ausreichend gegen Verschiebung und das Eindringen von Beton zu sichern.

Es ist darauf zu achten, dass zwischen dem Abschluss der Betonagearbeiten im Bereich der Kabelkanäle und dem Beginn des Probetriebes für die erforderlichen Kabelverlegearbeiten mindestens 10-14 Tage vorhanden sind.

#### Vermessung

Baubegleitend wurden Kontrollmessungen durch ein externes Vermessungsbüro durchgeführt. Die Einweisung und Betreuung erfolgte durch Vermessungspersonal des WSA Rheine. Der Aufwand hierfür war unverhältnismäßig hoch. Das vom Unternehmer beauftragte Büro hatte lange Anfahrtswege und war dementsprechend bei Bedarf nicht kurzfristig auf der Baustelle verfügbar (z.B. bei unplanmäßigen Änderungen des Bauablaufes). Die Durchführung der Vermessungsleistungen durch Mitarbeiter des WSA wäre hier von vorn herein effektiver gewesen. Sollte die Einzelfallentscheidung zur Beteiligung eines externen Büros führen, so ist es zweckmäßig, dieses ortsnah zu wählen und genauestens einzuweisen. Der Zeitraum, der dem Vermessungsbüro bei Anforderung zum Erscheinen auf der Baustelle eingeräumt wird, sollte vertraglich klar festgelegt werden (z.B. eine Stunde). Die begleitende Dokumentation ist regelmäßig abzufragen und zu prüfen (z.B. Einmessskizzen).

Die für die baubegleitenden Vermessungen zugrunde zu legende Messgenauigkeit sollte angemessen sein (Größenordnung bis zu 1cm, je nach Bauteil), höhere Genauigkeiten sind bei der baulichen Durchführung einer solchen Grundinstandsetzung nicht herstellbar und daher unzweckmäßig. Sinnvoll ist auch die Festlegung einer Achse in der Örtlichkeit, z.B. die



Kammerachse zwischen den Drempelmitten. Nach Einbindung dieser Achse in das örtliche Koordinatensystem können Kontrollmessungen bequem von dieser Achse aus ausgeführt werden. So werden Differenzen zwischen aktuellen örtlichen Vermessungsergebnissen in der Bauphase und Archivmessungen, die sich auf den ehemaligen Bauwerksbestand beziehen, vermieden.

### Ausführungspläne

Ein Teil der Schwierigkeiten, die sich im Zuge der Bauabwicklung zeigten, waren darauf zurückzuführen, dass die Phase zwischen Vergabe und Baubeginn sehr kurz war und dementsprechend nur wenig Zeit für die Verträglichkeitsprüfung von Ausführungsplänen blieb. Differenzen zwischen Stahlbau- und Stahlbetonplänen in einigen Details blieben so mitunter unbemerkt, konnten baulich jedoch ausgeglichen werden. So war beispielsweise die Bewehrungsführung im Bereich der Torarmierung nicht ohne Anpassungen mit den vorgesehenen Stahleinbauteilen vereinbar. Empfohlen werden kann hier auch die großzügige Dimensionierung der Abbruchbereiche. Im Verhältnis zum Aufwand einer nachträglichen Erweiterung bzw. Anpassung einer bereits ausgestemmt Nische sind die zusätzlichen Betonagearbeiten marginal. Weiterhin verursachen unplanmäßige Nachstemmarbeiten mitunter Gefährdungen für andere, z.B. tiefer liegende Arbeitsbereiche.

### Bemessung von Stahlbeton

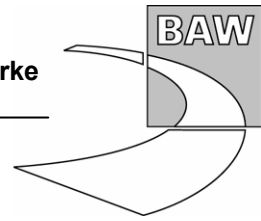
Auch sollte bei der Bemessung von Massivbauteilen und der Anordnung von Bewehrung darauf geachtet werden, dass die erforderliche Behandlung des Betons auf der Baustelle durchführbar bleibt (Einplanung von Rüttelgassen o.ä.). Teilweise waren Stahlbetonbauteile derart stark bewehrt, dass die Anwendung von Flaschenrüttlern vor Ort nur unter hohem Aufwand möglich war. In diesem Zusammenhang sollte auch die Wahl des Größtkorns des Stahlbetons sorgfältig erfolgen.

## **3. Fazit**

Der Projektverlauf „Grundinstandsetzung der Schleusen Hamm und Werries“ war vor allem dadurch gekennzeichnet, dass umfangreiche und komplizierte Arbeiten an bestehenden Anlagen in einem kleinen Zeitfenster durchgeführt werden mussten, um die Schifffahrt als Nutzer der Wasserstraße so wenig wie möglich zu beeinträchtigen. Dieses Ziel hatte neben Qualität und Sicherheit oberste Priorität. Die Sperrpause war der zentrale Meilenstein des Projektes.

Die Vorbereitungen dieser achtwöchigen Sperrpause nahmen von der ersten Entwurfserstellung bis zur Vollsperrung selbst einen Zeitraum von ca. vier Jahren in Anspruch. Die Arbeiten in der kurzen Sperrpause waren aufgrund der starken Wechselwirkungen auf den Baustellen geprägt von einem hohen baubetrieblichen Anspruch.

Das Projekt konnte planmäßig und ohne Unfälle erfolgreich abgeschlossen werden.



Dipl.-Ing. U. Gabrys, Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe

### **Instandsetzung von Stahlwasserbauten: Empfehlungen zu Ermüdungsfestigkeitsnachweisen, zur Materialauswahl und zu Schweißarbeiten**

Zur Aufrechterhaltung der Sicherheit und Dauerhaftigkeit von Stahlwasserbauten sind im Nutzungszeitraum dieser Bauwerke Instandsetzungen unterschiedlichster Art erforderlich.

#### Sicherheit und Dauerhaftigkeit

Was versteht man aber eigentlich unter den Begriffen „Sicherheit“ und „Dauerhaftigkeit“?

In der DIN 1055-100 /1/ wird die Sicherheit als die "Fähigkeit des Tragwerkes zur Sicherung von Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit, die eine Gefährdung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung verhindert." bezeichnet und der Begriff Dauerhaftigkeit als "Fähigkeit des Tragwerkes und seiner Teile, Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit während der gesamten Nutzungsdauer sicherzustellen." definiert. Auch die DIN 18800-1 /2/ liefert eine Definition zur Tragsicherheit, die unter anderem ausführt, dass mit dem Nachweis der Tragsicherheit belegt wird, dass das Tragwerk während seiner Errichtung und der gesamten Nutzung gegen Versagen ausreichend sicher ist.

Um die Tragsicherheit eines Stahlwasserbauwerkes über die gesamte Nutzungsdauer aufrecht zu erhalten, sind Instandsetzungen unterschiedlichster Art erforderlich. Unter einer Instandsetzung versteht man nach DIN 31051 Kap. 4.1.4 /3/ eine "Maßnahme zur Rückführung einer Betrachtungseinheit in den funktionsfähigen Zustand, mit Ausnahme von Verbesserungen". Diese Instandsetzungen können an bestimmten Bauwerksteilen wie einzelnen Riegeln oder Aussteifungen erforderlich werden, aber auch den Teilersatz eines Tragwerkes umfassen. Auch die Erneuerung des Korrosionsschutzes einhergehend mit unterschiedlichsten Reparaturen, wie z. B. Rissverschweißungen, Ersatz fehlender oder loser Verbindungsmittel, Aufarbeiten beweglicher Teile und Dichtungersatz, sind Instandsetzungen.



Bild 1: Schiebetor Kiel-Holtenau



Bild 2: Schiebetor Schleuse Brienens

Des Weiteren waren in den letzten Jahren an einigen geschweißten Verschlüssen Verstärkungsmaßnahmen infolge mangelnder Ermüdungsfestigkeit erforderlich.

### Ermüdungsfestigkeit

Mitte der 90ziger Jahre wurde per Erlass von den Wasser- und Schifffahrtsämtern (WSÄ'en) gefordert, dass für die vor 1987 gebauten, geschweißten Verschlüsse ein nachträglicher Ermüdungsfestigkeitsnachweis zu führen ist. In der Regel sind solche Ermüdungsfestigkeitsnachweise nur für geschweißte Schleusenverschlüsse relevant. In der DIN 18800-1 /2/ werden im Element (741) zwei Ausschlusskriterien genannt. Das auf die Spannungsspielzahl bezogene Kriterium macht z. B. bei geschweißten Wehrverschlüssen wegen der geringen Zahl der Lastspiele meistens den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit nicht erforderlich.

Wird jedoch, auch im Rahmen einer Instandsetzungsmaßnahme, ein Ermüdungsfestigkeitsnachweis geführt, so sind von Seiten des Auftraggebers, in diesem Fall seitens der ausschreibenden Wasser- und Schifffahrtsämter, dem beauftragten Ingenieurbüro spezielle Angaben bzw. Planungsunterlagen zu liefern, wie z.B.

- Bemessungswasserstand
- Lastspielzahl
- Statik (falls vorhanden)
- Ausführungszeichnungen (falls vorhanden)
- Auflistung der bekannten und dokumentierten Schäden

Beim Ermüdungsnachweis von Stahlwasserbauten wird i. d. R. das so genannte Wöhlerkonzept mit normierten Ermüdungsfestigkeitskurven (Kerbfallkategorien) zu Grunde gelegt. Durch den Auftragnehmer ist besonderes Augenmerk auf die Festlegung der Kerbfälle zu richten .

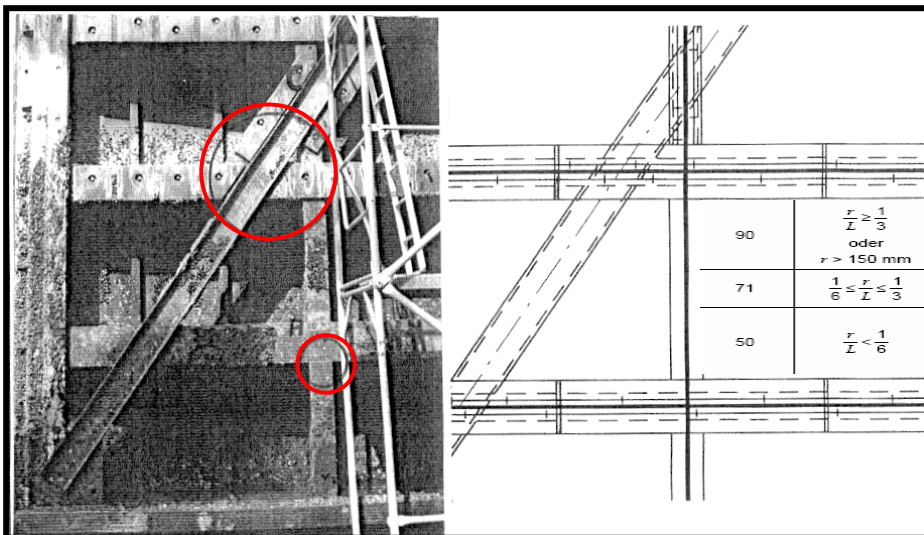
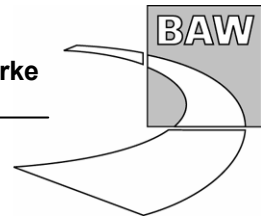


Bild 3: Eingruppierung eines geschweißten Anschlusses in eine Kerbgruppe

Nach der Festlegung der Kerbfälle kann unter Beachtung der tatsächlichen Lastspielzahl der Ermüdungsfestigkeitsnachweis geführt werden. Unter der Lastspielzahl versteht man die Schleusungen (Berg+Tal) pro Tag multipliziert mit den Betriebstagen pro Jahr multipliziert mit der Gesamtnutzungsdauer des Tragwerkes. Bei einer Ermüdungsfestigkeitsberechnung im Rahmen einer Instandsetzung sind die während der bisherigen Nutzung aufgetretenen Last-





spiele zu berücksichtigen und für die Restnutzung die für die Wasserstraße relevanten, prognostizierten Schleusungen.

In der Regel kann ein Ermüdungsfestigkeitsnachweis bei genieteten Verschlüssen erfolgreich geführt werden.

Sollte sich bei einem Ermüdungsfestigkeitsnachweis zeigen, dass ein Verschluss (meistens Schleusenverschluss) nicht ermüdungssicher ist, so sind die betroffenen Bereiche zu verstärken, um das vorhandene Spannungsniveau zu reduzieren oder um einen günstigeren Kerbfall zu erzeugen. Dies kann durch:

- Aufschrauben von Blechen/Profilen
  - Einschweißen von Blechen/Profilen
  - Aufschweißen von Blechen/Profilen
  - oder einer Teilerneuerung
- erfolgen.

Manchmal stellt aber auch der Ersatz des gesamten Verschlusses die wirtschaftlichere Lösung dar /4/.

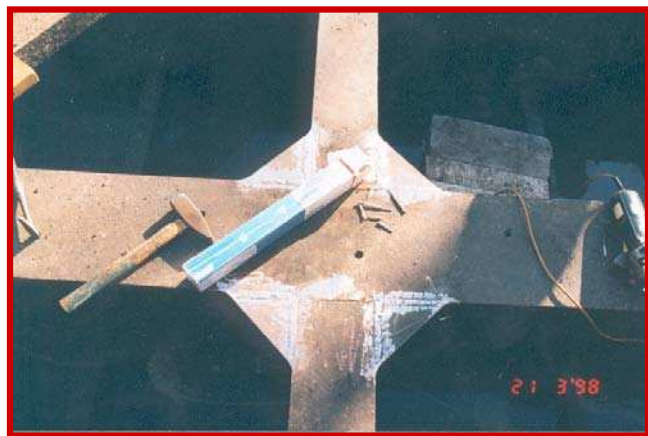


Bild 4: Ermüdungsgerechte Verstärkung

Um einige der in der Wasser- und Schiffsverwaltung (WSV) üblichen geschweißten Anschlüsse hinsichtlich der Ermüdungsfestigkeit genauer berechnen zu können, wurde durch die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) ein Forschungsprojekt initiiert. Untersuchungsbestandteil dieses Projektes war die zerstörende Prüfung von Teilkonstruktionen, die zwei häufig vorkommende Kerbfälle abbilden. Diese beiden Kerbfälle sind nicht im Kerbfallkatalog der DIN EN 1993-1-9 /5/ zu finden. Die Ergebnisse des Forschungsprojektes liegen inzwischen der BAW vor. Bei Nachrechnung bestehender Konstruktionen oder auch beim Neubau von Schleusenverschlüssen können zukünftig auch diese beiden Kerbfälle einer Ermüdungsfestigkeitsberechnung zu Grunde gelegt werden.

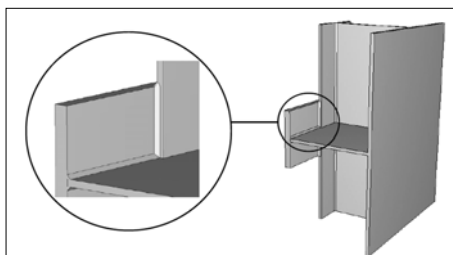


Bild 5: Version 1, Vertikalfansch wird hinter den Gurtflansch geführt

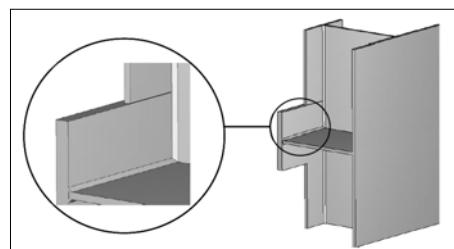
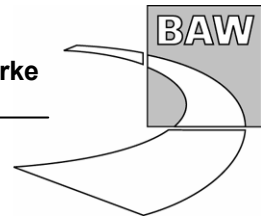


Bild 6: Vertikalfansch wird auf Gurtflansch geschweißt





## Materialauswahl

Bei Instandsetzungen an Stahlwasserbauverschlüssen ist es oftmals erforderlich, vorhandene Profile und Bleche zu ersetzen, bzw. es müssen Verstärkungen eingeschweißt oder aufgeschraubt werden. Oftmals kann für den Stahl ein, laut ZTV-W 216, erforderliches 3.1 C-Zeugnis (nach neuer DIN EN 10204: 3.2 Zeugnis) nicht mitgeliefert werden. Jedoch lässt die ZTV-W 216 /6/ auch zu, dass bei kleineren Mengen davon abgewichen werden kann. Allerdings liefert die ZTV-W 216 keine Angaben hinsichtlich des Begriffs "kleine Mengen" und muss daher durch den Auftraggeber definiert werden. Anhand der ggfs. mitgelieferten Zeugnisse (2.2, 2.3 oder 3.1B) ist vorab zu prüfen, ob der Stahl den gewünschten Qualitätsanforderungen entspricht. Sollten hinsichtlich der bescheinigten Materialgüten Zweifel bestehen, so sind Nachprüfungen wie Zugprüfung, Kerbschlagbiegeprüfung und chemische Analyse am einzubauenden Stahl zu veranlassen. Soll der Stahl in hochbeanspruchten Bereichen (z.B. Zuggurte an Riegeln, Lasteinleitungsbereiche, Endschotte) eines Verschlusses eingesetzt werden, so empfiehlt es sich, eine Nachprüfung zu beauftragen, falls kein 3.1C-Zeugnis (nach neuer DIN EN 10204: 3.2 Zeugnis) vorliegt. Für untergeordnete Bauteile, wie Aussteifungen, kann von einem 3.1C-Zeugnis (nach neuer DIN EN 10204: 3.2 Zeugnis) abgesehen werden. In der Regel werden Stahlwasserbauten aus S235 hergestellt. Auch für Instandsetzungen ist dieser Stahl bevorzugt einzusetzen. Im BAW-Brief Nr. 3 /7/ von 1999 wurde detailliert auf die Verwendung von Feinkornbaustählen in der WSV eingegangen. Dies soll daher hier nicht weiter erörtert werden.

Seit Januar 2005 liegt eine überarbeitete DIN EN 10204 "Metallische Erzeugnisse - Arten von Prüfbescheinigungen" vor. In dieser Norm werden neue Begriffe wie „Hersteller“, „Händler“, „Erzeugnisspezifikationen“ aufgeführt und die Anzahl der Prüfbescheinigungen verringert. Das Werkprüfzeugnis 2.3 wurde gestrichen, das Abnahmeprüfzeugnis 3.1 ersetzt das "alte" 3.1B-Zeugnis und das Abnahmeprüfzeugnis 3.2 ersetzt die 3.1A-; 3.1C- und 3.2-Zeugnisse.

EN 10204:2004 (D)

### **Anhang A** (informativ)

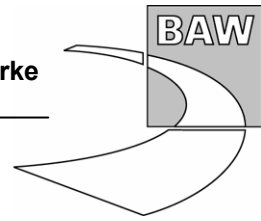
#### **Zusammenstellung der Prüfbescheinigungen**

Eine Zusammenstellung der Prüfbescheinigungen ist in Tabelle A.1 angegeben.

**Tabelle A.1 — Zusammenstellung der Prüfbescheinigungen**

Art	Bezeichnung der Prüfbescheinigungen nach EN 10204			Inhalt der Bescheinigung	Bestätigung der Bescheinigung durch
	Deutsch	Englisch	Französisch		
2.1	Werksbescheinigung	Declaration of compliance with the order	Attestation de conformité à la commande	Bestätigung der Übereinstimmung mit der Bestellung	den Hersteller
2.2	Werkszeugnis	Test report	Relevé de contrôle	Bestätigung der Übereinstimmung mit der Bestellung unter Angabe von Ergebnissen nichtspezifischer Prüfung	den Hersteller
3.1	Abnahmeprüfzeugnis 3.1	Inspection certificate 3.1	Certificat de reception 3.1	Bestätigung der Übereinstimmung mit der Bestellung unter Angabe von Ergebnissen spezifischer Prüfung	den von der Fertigungsabteilung unabhängigen Abnahmebeauftragten des Herstellers
3.2	Abnahmeprüfzeugnis 3.2	Inspection certificate 3.2	Certificat de reception 3.2	Bestätigung der Übereinstimmung mit der Bestellung unter Angabe von Ergebnissen spezifischer Prüfung	den von der Fertigungsabteilung unabhängigen Abnahmebeauftragten des Herstellers und den vom Besteller beauftragten Abnahmebeauftragten oder den in den amtlichen Vorschriften genannten Abnahmebeauftragten

**Bild 8: Tabellarische Übersicht der Prüfbescheinigungen aus der DIN 10204**



### Schweißen an Altstählen

Da viele Bauten in der WSV älter als 60 Jahre sind und an diesen auch immer wieder Instandsetzungen erforderlich werden, sind im Bezug auf eventuelle Schweißarbeiten an diesen Konstruktionen einige Aspekte zu beachten.

*Generell ist anzumerken, dass von Schweißarbeiten an genieteten Konstruktionen abgesehen werden sollte.*

Sind jedoch Schweißarbeiten unumgänglich, so sind an den zu verschweißenden Bereichen chemische Analysen durchzuführen. Diese werden an Spänen aus dem entsprechenden Bauteil vorgenommen. Oftmals liegen bei den Altstählen erhöhte Massengehalte an Stickstoff, Schwefel und Phosphor vor. Diese unerwünschten Stahlbegleiter können während und/oder nach dem Schweißen zu erneuter Rissbildung führen.

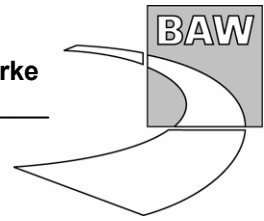
Um eine qualitativ gute Schweißung zu erhalten, sind zur Schweißnahtvorbereitung:

- das Abbohren des Rissendes
- die Kontrolle des Bohrloches auf Anrisse (visuell, mit Met-L-Check)
- das Thermische Ausfugen des Risses als Schweißnahtvorbereitung durchzuführen. /8/

Des Weiteren sind folgende Bedingungen nach /7/ zu beachten:

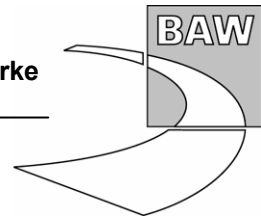
- Als Schweißzusatzwerkstoffe sind basische Elektroden zu benutzen. Die Elektrode ist nach der vorliegenden chemischen Analyse auszuwählen. Diese sind nach Herstellerangabe rückzutrocknen und auf der Baustelle aus dem Köcher zu verschweißen.
- Bei jedem Riss ist eine geeignete Schweißfolge festzulegen, so dass bei der Abkühlung lediglich geringe Schweißbeigenspannungen entstehen.
- Wenn bei geringen Temperaturen und feuchter Umgebung geschweißt wird, sollten die zu verschweißenden Bleche vorgewärmt werden, damit durch den Wärmeabfluss im Grundmaterial keine Martensit entsteht. Die Vorwärmtemperatur sollte 50-80 °C betragen. Bei ungünstigen Wetterverhältnissen ist eine Überdachung des Arbeitsbereiches vorzunehmen.
- Die Schweißer sollten nach DIN EN 287-1 geprüft sein.
- Auch für die Reparaturschweißungen gilt DIN 18800 Teil 7. Insbesondere sind die Anmerkungen zum Schweißen an nicht vorwiegend ruhenden Bauteilen zu beachten

Bei Schweißarbeiten in hochbeanspruchten Bauwerksbereichen wird empfohlen, einen externen Schweißfachingenieur zur Überwachung hinzuzuziehen.



## **Literatur**

- /1/ DIN 1055: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln; Ausgabe März 2001
- /2/ DIN 18800-1: Stahlbauten - Bemessung und Konstruktion; Ausgabe November 1990
- /3/ DIN 31051: Grundlagen der Instandhaltung; Ausgabe Juni 2003
- /4/ Meinhold, W.: Instandsetzungsmöglichkeiten und –grenzen für Stahlwasserbauten, Mitteilungsblatt der BAW Nr. 83, Okt. 2001
- /5/ DIN EN 1993-1-9: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-9: Ermüdung; Ausgabe Juli 2005
- /6/ ZTV-W 216: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen Wasserbau für Stahlwasserbau, Leistungsbereich 216-1, Ausgabe 1998
- /7/ Gabrys, U.: BAW-Brief Nr. 3, 551-B: Schweißgeeignete höherfeste Feinkornbaustähle; Ausgabe 1999
- /8/ Gabrys, U.: BAW-Brief Nr. 2, 573-B: Schweißen an Altstählen; Ausgabe Juli 2003



Dipl.-Ing. R. Hertig, Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe  
**Ertüchtigung oder Neubau von älteren Stahlwasserbauten**

Im Rahmen der Erstellung von Gutachten über insbesondere ältere Stahlwasserbauten ist die Fragestellung zumeist nicht akut „Sein oder Nichtsein“, aber ein „wie lange noch sein“ ist wohl als Aussage zu erwarten. Die Aufgabenstellung lautet somit: Ermittlung der Restnutzungsdauer.

Bereitstellung von zeichnerischen, rechnerischen und betriebstechnischen Arbeitsunterlagen durch den Auftraggeber ist Grundlage der Betrachtungen.

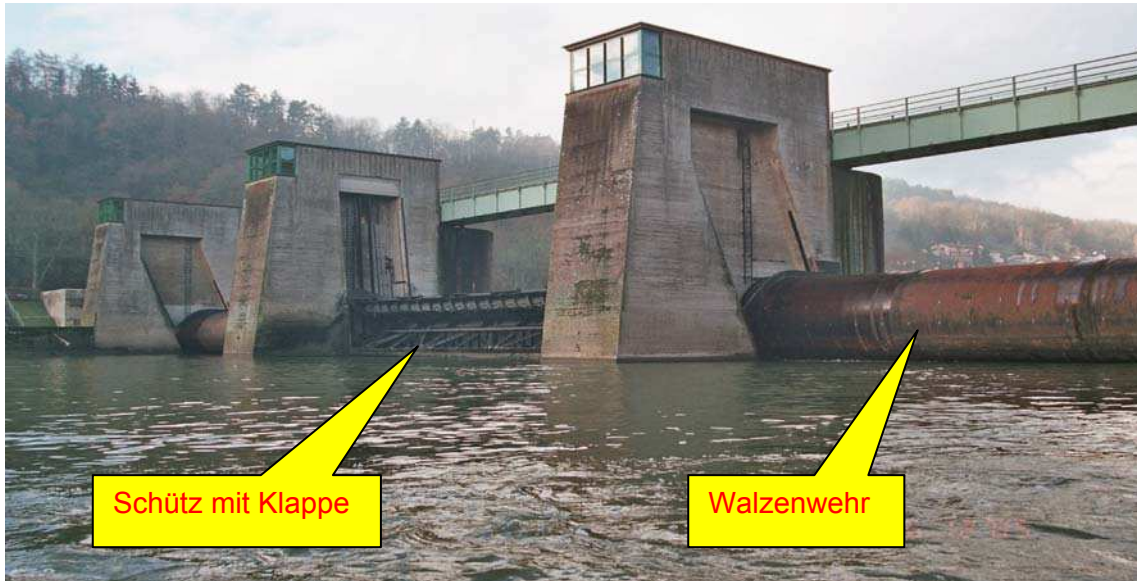
Letztgenannte beginnen mit ausgiebigen visuellen Untersuchungen vor Ort, Restwanddickenmessungen, Fotodokumentationen und gegebenenfalls Materialentnahmen zur nachträglichen Bestimmung der Qualität der Stähle. Mittels weiterer, insbesondere statischer, Betrachtungen erhält man Aussagen zur Restnutzungszeit einer Konstruktion.

Bei den betrachteten Stahlwasserbauten handelt es sich primär um Schleusentore, Umlauf- und Wehrverschlüsse.



Besonders bei den Toren ist es die Ermüdungsfestigkeit, die eine weitere Verwendung der Konstruktion maßgeblich beeinflusst. Eine möglichst genaue Ermittlung der Lastspiele, teilweise 70 Jahre zurück, ist hierbei oft schwierig jedoch sehr wichtig. Ein weiterer Fakt ist der konstruktive Erhaltungszustand von Stahlteil und Korrosionsschutz. Oft zeigt es sich, dass für das Tragwerk ein noch befriedigender Zustand vorliegt, während das Beschichtungssystem total als abgängig eingestuft werden muss. Reparaturarbeiten zur Ertüchtigung der Tore sind weitestgehend möglich, wobei Materialbeschaffenheit und Verbindungselemente von Bedeutung sind.

Für Wehrverschlüsse spielt die Ermüdung zumeist keine maßgebende Rolle, da die Lastspiele sich in niedrigen Bereichen darstellen. So sind hier die konstruktiven Erhaltungszustände ausschlaggebend. Auch dabei ist festzuhalten, dass punktuelle Reparatur oft gut möglich ist, während der Korrosionsschutz total erneuert werden müsste.

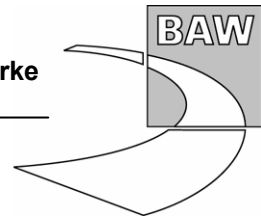


Die rechnerischen Nachweise für die zu untersuchenden Stahlwasserbauten erfolgen meist mit Hilfe der „Finiten Elemente Methode“ (FEM). Damit ist es nach der oft aufwendigen Erstellung eines Rechenmodelles relativ einfach möglich, unterschiedliche Restwanddicken einzuarbeiten und auch Konstruktionsteile zu entfernen (simulierter Ausfall von Stäben usw.). Es lassen sich damit Aussagen zu folgenden „Behandlungen“ solcherart untersuchter Konstruktionen machen:

1. Weiterbetrieb für einen längeren Zeitraum nach Reparaturen (so erforderlich) und Erneuerung des Korrosionsschutzes.
2. Weiterbetrieb nach Reparaturen (so erforderlich) und Beibehaltung des Zustandes des Beschichtungssystems. Rechnerischer Nachweis einer maximalen Restnutzungszeit unter Berücksichtigung der Abrostgeschwindigkeit. Kontrollen der fortschreitenden Dickenverluste der Konstruktionsteile sind hierbei erforderlich.
3. Neubau der entsprechenden stahlwasserbaulichen Konstruktion, obwohl eine Behandlung nach Punkt 1 möglich wäre, ein Kostenvergleich jedoch einen Neubau als günstiger ausweist. Das resultiert zumeist aus den hohen Kosten für die Entfernung und Entsorgung der alten, teilweise hochgradig umwelt- und gesundheitsschädlichen, Beschichtungssysteme.

Im Vortrag werden eine Reihe stahlwasserbaulicher Konstruktionen, die nach den oben genannten Aspekten untersucht wurden, vorgestellt.

- Ein Hubtor aus den dreißiger Jahren in der Saale konnte mittelfristig ertüchtigt werden. Ausschlaggebend war der Ermüdungszustand, dessen Spannungspotential mit Hilfe von aufgebrachten Laschen ausreichend abgesenkt wurde. Da die Schweißbeignung der Konstruktion nur sehr bedingt gegeben war, konnte auf die Niettechnik zurückgegriffen werden. Damit waren zusätzliche Schweißeigenspannungen und ungünstigere Kerbfälle vermeidbar.



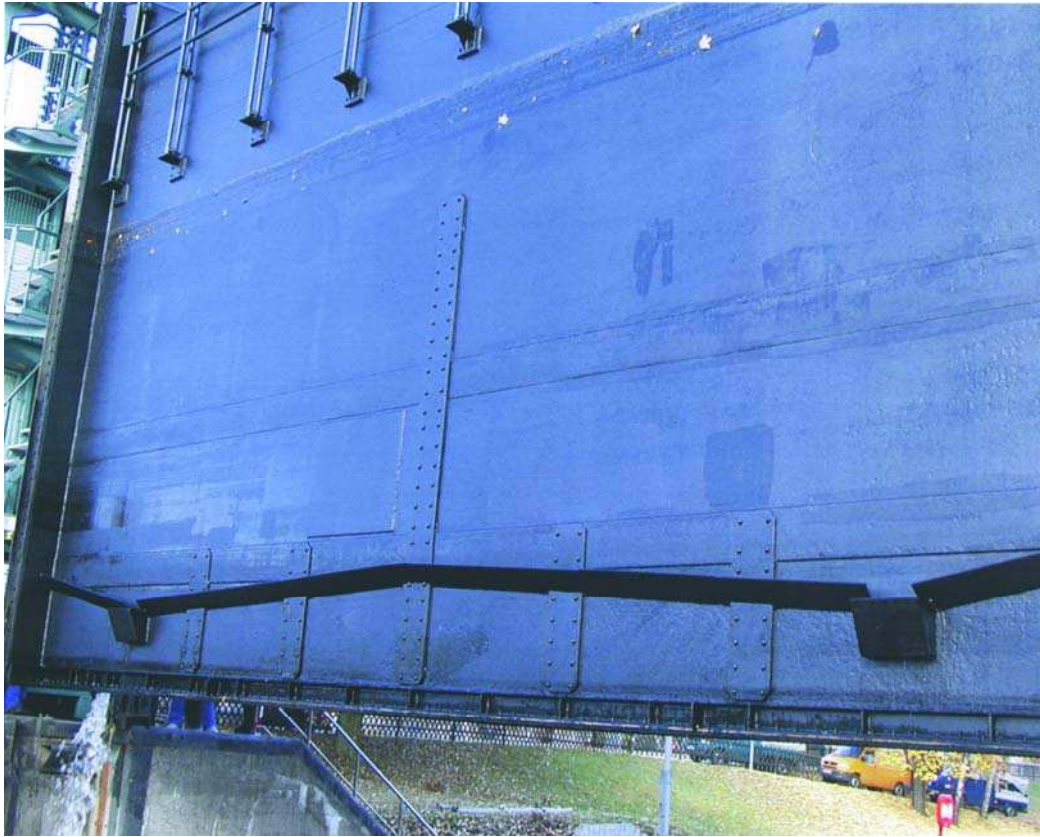
- Ebenso war die Ertüchtigung eines Stemmtores im Oder-Spree-Kanal, mit etwa Baujahr 1975, möglich. Die unzureichende Ermüdungsfestigkeit wurde durch das Absenken des Spannungsniveaus an den betroffenen Kerbstellen beseitigt.
- Für Hubtore aus dem Teltowkanal, Baujahr 1906, war trotz erheblicher Korrosionserscheinungen eine mittelfristige Restnutzung gegeben, wobei auch der Ausfall einzelner Konstruktionselemente simuliert wurde. Eine totale Erneuerung des vorgefundenen hochgradig umwelt- und gesundheitsschädlichen Anstrichsystems war jedoch wohl u.a. ausschlaggebend dafür, dass ein Neubau der Tore vorgezogen wurde.
- Bei der Begutachtung der Tore eines Schiffshebewerkes von 1976 wurden lokal derartig negative Kerbfallsituationen festgestellt, dass letztendlich auf eine Erneuerung sämtlicher Tore orientiert werden musste.
- Die Untersuchungen einer Reihe verschiedenster Wehranlagen aus den Jahren 1920 – 1940 erbrachte zumeist ein positives Ergebnis. Dabei wäre hier wohl die globale Erneuerung der Anstriche kostenmäßig so gravierend, dass darauf verzichtet werden muss. Es wird ein Betrieb bis zum Erreichen des maximal ertragbaren Korrosionsverlustes empfohlen, um dann einen planmäßigen Neubau vorzunehmen.

Als Abschlussbetrachtung wird folgendes resümiert:

Ertüchtigung oder Neubau oder Weiterbetrieb, wie gehabt, mit verkürztem Inspektionszyklus?!

- Sinnvoll ist, wie aufgezeigt, ein Kostenvergleich, so es sich um komplexe Maßnahmen zu einer Ertüchtigung handelt.
- Der technische Zustand der Tore in Verbindung mit dem Alter der Konstruktion stellt einen wesentlichen Faktor dar
- Weiter ist einzuschätzen, welcher Sicherheitsstandard mit einer Ertüchtigung erreicht wird (verbleibende Sprödbruchgefahr, Schweißseignung, aufnehmbarer Eisdruck)
- Neubau somit letztendlich als Folge monetärer und technischer Betrachtungen zu Sicherheit und Betrieb.
- Ertüchtigung für den Fall beschränkter Ausbesserungen für Konstruktion und Beschichtungssysteme sinnvoll. Hierbei kann es sich um festgestellte Schwachpunkte wie auch um Havarieschäden handeln.
- Weiterbetrieb einer Anlage ohne jegliche Maßnahmen, so rechnerische Nachweise für einen Zeitraum mit abgesichertem Betrieb vorliegen. Hierbei wird ein erhöhter Inspektionsaufwand mit intensiver Beobachtung (auch Restwanddickenmessungen) des Zustandes der Konstruktion erforderlich.





Mit Hilfe der Niettechnik (ungünstige Einflüsse -Kerbfälle- infolge Schweißtechnik entfallen) ertüchtigtes Hubtor aus den dreißiger Jahren. Nur bedingte Schweißeignung vorhanden.

# Teilnehmerliste BAW-Kolloquium

**Sicherheit, Dauerhaftigkeit und Instandsetzung bestehender Wasserbauwerke**

7. November 2006 in Karlsruhe

Name	Firma
<b>Allers, Peter</b>	Ingenieurgruppe Bauen, Karlsruhe
<b>Allmann, Brigitte</b>	Ingenieurbüro Allmann, Seligenstadt
<b>Andresen, Gero</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Brunsbüttel
<b>Angst, Rainer</b>	BuM Beton- und Monierbau GmbH, Herne
<b>Annerer, Günther</b>	ED. ZÜBLIN AG, Ronnenberg
<b>Barenborg, Anke</b>	Krebs + Kiefer, Beratende Ingenieure, Karlsruhe
<b>Barth, Wilhelm</b>	Bundesrechnungshof, PAB, Niedernhausen
<b>Beck, Patrick</b>	IMF Institut für Materialprüfung und -forschung GmbH, Nordhausen-Leimbach
<b>Becker, Bernd</b>	Krebs + Kiefer, Beratende Ingenieure, Karlsruhe
<b>Becker, Holger</b>	Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
<b>Bejan, Adrian</b>	Wasser- und Schifffahrtsdirektion Süd, Würzburg
<b>Berger, Frank</b>	Vattenfall Europe Generation AG & Co. KG, Cottbus
<b>Berlenbach, Björn</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Freiburg
<b>Bettzieche, Dr. Volker</b>	Ruhrverband, Essen
<b>Bliss, Uwe</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Rheine
<b>Bökamp, Dr. Heinrich</b>	Thomas & Bökamp Ingenieurgesellschaft mbH, Münster
<b>Borges, Uwe</b>	Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte, Hannover
<b>Bos, Ties</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Stuttgart
<b>Breitenbach, Thomas</b>	Bundesrechnungshof, PAB, Frankfurt
<b>Breitenstein, Jens</b>	RMD Wasserstraßen GmbH, München
<b>Brögelhoff, Hans Georg</b>	Ingenieurberatung Brögelhoff GmbH, Oldenburg
<b>Buchhorn, Markus I.</b>	Aug. Prien Bauunternehmung, Hamburg
<b>Constantinescu, Prof. Dr. Dan</b>	Krebs + Kiefer, Beratende Ingenieure, Karlsruhe
<b>Dätig, Swenja</b>	Ruhrverband, Essen
<b>Donau, Hans</b>	Mainz
<b>Droll, Dr. Klaus</b>	Dyckerhoff AG, Wiesbaden
<b>Duensing, Jörg</b>	BGS Ingenieurgesellschaft mbH, Hannover
<b>Ehmann, Rainer</b>	Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
<b>Engels, Natascha</b>	Wasserstraßen-Neubauamt, Aschaffenburg
<b>Ennen, Claus</b>	KMT-Ingenieurgesellschaft, Hamburg
<b>Esper, Manfred</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Nürnberg
<b>Faul-Ernst, Karlheinz</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Bremerhaven
<b>Feist, Wolfgang</b>	Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte, Hannover



<b>Name</b>	<b>Firma</b>
<b>Ferrari, Helmut</b>	Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft mbH, München
<b>Fischer, Christian</b>	IWB, Universität, Stuttgart
<b>Fleischer, Oliver</b>	Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe
<b>Franke, Jörg</b>	Institut für Wasserbau, Universität, Stuttgart
<b>Fröhner, Helko</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Schweinfurt
<b>Gabrys, Ulrike</b>	Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
<b>Gähns, Joachim</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Trier
<b>Gebler, Tobias</b>	Institut für Wasserbau, Universität, Stuttgart
<b>Gheorghiu, Dumitru</b>	Schömig-Plan Ingenieurgesellschaft mbH, Kleinostheim
<b>Goldmann, Jens</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Nürnberg
<b>Götz, Jan-Peter</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Brandenburg
<b>Grabau, Jürgen</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Bremen
<b>Gröger, Manfred</b>	RMD Wasserstraßen GmbH, München
<b>Grünberg, Prof. Dr. Jürgen</b>	Institut für Massivbau, Leibniz Universität, Hannover
<b>Haferburg, Hans-Jörg</b>	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin
<b>Hagenfeld, Bernd</b>	Schachtbau Nordhausen GmbH, Nordhausen
<b>Hallauer, Ottokar</b>	Weingarten
<b>Hansen, Dr. Michael</b>	Institut für Massivbau, Leibniz Universität, Hannover
<b>Harich, Herbert</b>	Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
<b>Hatzius, Klaus</b>	Wasserstraßen-Neubauamt, Aschaffenburg
<b>Haufe, Holger</b>	Institut für Wasserbau, TU, Dresden
<b>Hegemann, Harald</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Braunschweig
<b>Helbig, Ulf</b>	Institut für Wasserbau, TU, Dresden
<b>Hempel, André</b>	Wasserstraßen-Neubauamt, Datteln
<b>Henningsen, Hauke</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Kiel
<b>Hertig, Roland</b>	Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
<b>Hertting, Helfried</b>	Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden
<b>Heunisch, Dr. Michael</b>	König und Heunisch Planungsgesellschaft, Frankfurt
<b>Heyder, Frank</b>	hpl.-Ingenieurges.mbH, Berlin
<b>Hinze, Ulrich</b>	QSi GmbH, Hamburg
<b>Höher, Michael</b>	RMD-Consult GmbH, München
<b>Holze, Wolfgang</b>	Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden
<b>Hosnowsky, Martin</b>	Wasserstraßen-Neubauamt, Datteln
<b>Isermann, Klaus</b>	Wasserstraßen-Neubauamt, Datteln
<b>Janssen, Ralf</b>	ED ZÜBLIN AG, Ronnenberg
<b>Jenrich, Dr. Holger</b>	Spezialbau Engineering GmbH, Magdeburg
<b>Kalinowski, Michael</b>	Specht, Kalleja & Partner, Berlin
<b>Kannemann, Jürgen</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Nürnberg
<b>Keilhack, Ronald</b>	Regierungspräsidium, Chemnitz

<b>Name</b>	<b>Firma</b>
<b>Klebsattel, Gundo</b>	Schluchseewerk, Freiburg
<b>Kleidl, Martin</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Regensburg
<b>Kleine, Christian</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Rheine
<b>Korus, Thomas</b>	Wasser- und Schifffahrtsdirektion Süd, Würzburg
<b>Krause, Lisa-Maria</b>	Ruhrverband, Essen
<b>Krebs, Dorothea</b>	Krebs + Kiefer, Beratende Ingenieure, Karlsruhe
<b>Kreutz, Norbert</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Koblenz
<b>Kromminga, Sven</b>	Institut für Massivbau, Leibniz Universität, Hannover
<b>Krüger, Jürgen</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg, ABz, Glückstadt
<b>Krupinski, Christoph</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Aschaffenburg
<b>Kubens, Christian</b>	Kubens Ingenieurgesellschaft mbH, Nürnberg
<b>Kunert, Manfred</b>	Koblenz
<b>Kunz, Claus</b>	Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
<b>Kunze, Jürgen</b>	Schömig-Plan Ingenieurgesellschaft mbH, Kleinostheim
<b>Labesius, Eberhard</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Brunsbüttel
<b>Laier, Robert</b>	Ingenieurgruppe Bauen, Karlsruhe
<b>Langjahr, Uwe</b>	Wasserstraßen-Neubauamt, Aschaffenburg
<b>Last, Katja</b>	Ruhrverband, Essen
<b>Lettner, Christian</b>	hpl.-Ingenieurges.mbH, Berlin
<b>Leuser, Rolf-Dieter</b>	Max Frank GmbH, Rheinstetten
<b>Lindlar, Hans-Gerd</b>	Krebs + Kiefer, Beratende Ingenieure, Berlin
<b>Loch, Markus</b>	TU Kaiserslautern, Kaiserslautern
<b>Mäder, Martina</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Brandenburg
<b>Marengwa, Jeff</b>	Hamburg Port Authority Öffentlicher HWS, Hamburg
<b>Meissner, Christian</b>	Wasser- und Schifffahrtsdirektion Süd, Würzburg
<b>Molck, Michael</b>	RMD-Consult GmbH, München
<b>Mozarski, Günter</b>	Wasserstraßen-Neubauamt, Aschaffenburg
<b>Mücher, Frithjof</b>	Ingenieurbüro Mücher, Aschaffenburg
<b>Mühlenberg, Herbert</b>	IMF Institut für Materialprüfung und -forschung GmbH, Nordhausen-Leimbach
<b>Müller, Marco</b>	Vattenfall Europe Generation AG & Co. KG, Cottbus
<b>Müller, Gerhard</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Regensburg
<b>Naun, Klaus-Dieter</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Aschaffenburg
<b>Nitsch, Olaf</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Verden
<b>Nitschke, Andreas</b>	IMS Ingenieurgesellschaft mbH, Hamburg
<b>Obendorf, Stefan</b>	PTW Planungsgemeinschaft Tief- und Wasserbau GmbH, Dresden
<b>Ollero, Juan</b>	Inros Lackner AG, Bremen
<b>Osterloh, Jens</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Bremen
<b>Paas, Regina</b>	Wasserstraßen-Neubauamt, Aschaffenburg
<b>Name</b>	<b>Firma</b>

---

<b>Partschefeld, Uwe</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Berlin
<b>Patitz, Dr. Gabriele</b>	Ingenieur-Büro IGP, Karlsruhe
<b>Plass, Joachim</b>	Plass Ingenieure GmbH, Geesthacht
<b>Plass, Silke</b>	Plass Ingenieure GmbH, Geesthacht
<b>Püschel, Heike</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Brandenburg
<b>Pysik, Michael</b>	Krebs + Kiefer, Beratende Ingenieure, Berlin
<b>Räther, Uwe</b>	Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte, Hannover
<b>Reißmann, Tobias</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Schweinfurt
<b>Reschke, Dr. Thorsten</b>	Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
<b>Rettemeier, Dr. Katja</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Uelzen
<b>Richter, Torsten</b>	PTW Planungsgemeinschaft Tief- und Wasserbau GmbH, Dresden
<b>Riekenberg, Sven</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Bremen
<b>Riffel, Siegfried</b>	HeidelbergCement AG, Talheim
<b>Rode, Dr. Ulrich</b>	Wasserstraßen-Neubauamt, Datteln
<b>Roesler, Frank</b>	Ruhrverband, Essen
<b>Ruckenbrod, Dr. Cornelius</b>	Ingenieure im Bauwesen GbR, Karlsruhe
<b>Rückriem, Tobias</b>	König und Heupisch Planungsgesellschaft mbH, Leipzig
<b>Rudzinski, Ulrich</b>	Ruhrverband, Regionalbereich Mitte, Essen
<b>Schäfer, Volker</b>	Wasser- und Schifffahrtsdirektion Süd, Würzburg
<b>Schalk, Peter</b>	Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest, Mainz
<b>Schlüter, Dr. Franz-Hermann</b>	Ingenieure im Bauwesen GbR, Karlsruhe
<b>Schmautz, Dr. Markus</b>	RMD Wasserstraßen GmbH, München
<b>Schmeling, Wilfried</b>	Ingenieurberatung Brögelhoff GmbH, Oldenburg
<b>Schmidt, Georg</b>	CDM Consult GmbH, Alsbach
<b>Schmidt, Dr. Detlef</b>	Bilfinger Berger AG, Leipzig
<b>Schmitt, Karl Georg</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Saarbrücken
<b>Schneider, Robert</b>	Ingenieurbüro Schneider, Großostheim
<b>Schneider, Petra</b>	Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, Bonn
<b>Schömig, Ulrike</b>	Schömig-Plan Ingenieurgesellschaft mbH, Kleinostheim
<b>Schöpflin, Albert</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Saarbrücken
<b>Schroeder, Albert</b>	RMD-Consult GmbH, München
<b>Schüle, Martin</b>	Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest, Mainz
<b>Schütt, Björn</b>	Aug. Prien Bauunternehmung, Hamburg
<b>Schütte, Dr. Jens</b>	HHW + Partner, Braunschweig
<b>Siems, Dr. Michael</b>	Ingenieursoz. Peil, Ummenhofer + Part., Braunschweig
<b>Simmnacher, Thomas</b>	Hydroprojekt Ingenieurgesellschaft mbH, München
<b>Stehling, Karl</b>	Ingenieurberatung Brögelhoff GmbH, Emden
<b>Stelter, Julia</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Verden
<b>Stemmler, Markus</b>	Krebs + Kiefer, Beratende Ingenieure, Berlin

<b>Name</b>	<b>Firma</b>
<b>Stinner, Bernward</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Freiburg
<b>Stütz, Rüdiger</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Schweinfurt
<b>Terlau, Dr. Ulrich</b>	Thomas & Bökamp Ingenieurgesellschaft mbH, Münster
<b>Tritschler, Christian</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Freiburg
<b>Uecker, Jörn</b>	IMS Ingenieurgesellschaft mbH, Hamburg
<b>Unser, Christine</b>	Obermeyer Planen + Beraten GmbH, Karlsruhe
<b>Vogt, Günther</b>	Wasserstraßen-Neubauamt, Aschaffenburg
<b>Voosen, Heinz-Josef</b>	Ingenieur-Büro Scheer, Abeln, Vossen, Papenburg
<b>Weckbecker, Dr. Wolfgang</b>	Björnson Beratende Ingenieure GmbH, Koblenz
<b>Wedekind, Henry</b>	Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost, Magdeburg
<b>Weher, Hans Albert</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Saarbrücken
<b>Weinhold, Klaus</b>	Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte, Hannover
<b>Weller, Peter</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Stuttgart
<b>Westendarp, Andreas</b>	Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
<b>Wetjen, Thomas</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Bremen
<b>Wickenhäuser, Andreas</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Heidelberg
<b>Wimmer, Stefanie</b>	Wasserstraßen-Neubauamt, Aschaffenburg
<b>Witt, Hans-Holger</b>	Wasser- und Schifffahrtsamt, Brunsbüttel
<b>Zimmermann, Thomas</b>	UNGER Ingenieure, Freiburg